

УДК 674(063)
ББК 37.13
Д 36

Д 36 **Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века** [Электронное издание] : труды XVI Международного евразийского симпозиума / под науч. ред. В. Г. Новоселова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – 1 CD-ROM. – Систем. требования : IBM Intel Celeron 1,3 ГГц ; 10,5 Mb ; Microsoft Windows XP SP3 ; Видеосистема Intel HD Graphics ; дисковод, мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-94984-797-8

В книгу трудов включены доклады XVI Международного евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», проходившего с 21 по 24 сентября 2021 г. в городе Екатеринбурге. Авторы трудов представляют научно-образовательные организации России и ближнего зарубежья (Беларуси).

В трудах рассмотрены актуальные вопросы теории и практики технологии подготовки круглых лесоматериалов и их переработки; деревянного домостроения; организации деревообрабатывающего производства и отделки изделий из древесины; теории резания древесины на станках, совершенствования и проектирования принципиально нового технологического деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента, повышения их точности и надежности; экологии и безопасности, а также эффективности использования инновационных и информационных технологий в прикладных исследованиях и образовании.

УДК 674(063)
ББК 37.13

Организационный комитет:

Е. П. Платонов – ректор, председатель; В. В. Фомин – проректор по НРИДиЦ, зам. председателя; М. В. Газеев – советник при ректорате, зам. председателя; Е. Е. Шишкина – директор ИТИ; Р. А. Осипенко – начальник управления молодежной политики; И. Г. Первова – директор ХТИ; Ю. А. Капустина – директор СЭИ; Ю. Л. Юрьев – зав. кафедрой ХТДБиН; А. В. Мяслицин – зам. директора по науке ИТИ; А. В. Артемов – зам. директора по науке ХТИ; А. Г. Гороховский – зав. кафедрой УТСИИТ; Н. В. Кузубина – зав. кафедрой ТМиТМ; О. В. Макавеева – руководитель центра информационного обеспечения; В. Г. Новоселов – профессор кафедры УТСИИТ, ответственный секретарь сборника трудов симпозиума; Д. А. Серпов – администратор сайта симпозиума; А. Г. Магасумова – начальник УНИД; А. Б. Айдосов – начальник ОМСИВС, сопровождение иностранных участников мероприятия, модератор выставочной экспозиции; В. В. Побединский – и. о. зав. кафедрой ИС; О. Н. Чернышев – зав. кафедрой МОДиПБ; А. В. Мехренцев – зав. кафедрой ТОЛП.

Редакционная коллегия:

В. Г. Новоселов – ответственный секретарь; Е. Е. Шишкина; А. Г. Гороховский; А. В. Мехренцев; О. Н. Чернышев; Н. В. Кузубина; И. Г. Первова; Ю. А. Капустина; В. В. Побединский.

Рецензент:

П. С. Власов – генеральный директор ООО «Уралгипролеспром».

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

Ответственный за выпуск сборника В. Г. Новоселов
Дизайн обложки М. В. Газеева

ISBN 978-5-94984-797-8



9 785949 184797

XVI

XVI INTERNATIONAL
EURASIAN
SYMPOSIUM
21–24 September 2021



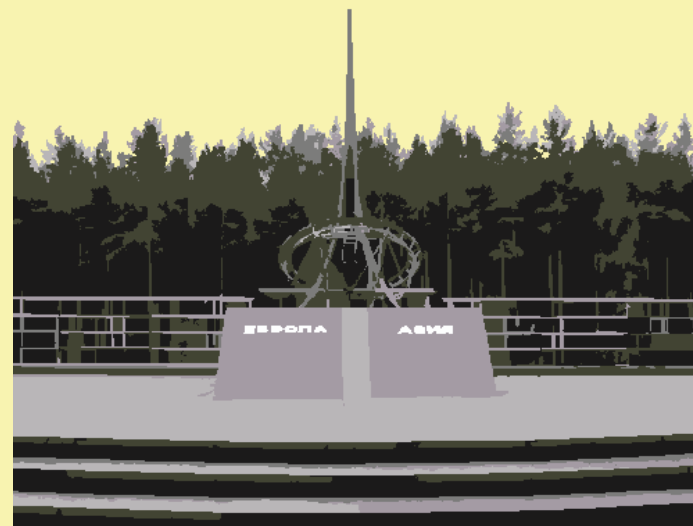
XVI МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЕВРАЗИЙСКИЙ
СИМПОЗИУМ
21–24 сентября 2021



УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ
21–24 сентября 2021

ДЕРЕВООБРАБОТКА: технологии, оборудование, менеджмент XXI века



В рамках XVI Евро-Азиатского лесопромышленного форума

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», 2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И НАУКИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЛЕСНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
(IUFRO)
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ЛЕСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ICFFI)
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ
И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ «СТАНКОИНСТРУМЕНТ»
АССОЦИАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МАШИНОСТРОЕНИЯ «ДРЕВМАШ»
АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ СЕКЦИИ НАУК О ЛЕСЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
УРАЛЬСКИЙ СОЮЗ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННИКОВ
АССОЦИАЦИЯ ДЕРЕВЯННОГО ДОМОСТРОЕНИЯ УРАЛА
АССОЦИАЦИЯ УРАЛЬСКИХ МЕБЕЛЬЩИКОВ

ДЕРЕВООБРАБОТКА:

**ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ,
МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА**

**ТРУДЫ
XVI МЕЖДУНАРОДНОГО
ЕВРАЗИЙСКОГО СИМПОЗИУМА
21–24 сентября 2021 г.**

Электронное издание

**ЕКАТЕРИНБУРГ
2021**

УДК 674(063)
ББК 37.13
Д 36

Д 36 **Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века** [Электронное издание] : труды XVI Международного евразийского симпозиума / под науч. ред. В. Г. Новоселова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – 1 CD-ROM. – Систем. требования : IBM Intel Celeron 1,3 ГГц ; 10,5 Mb ; Microsoft Windows XP SP3 ; Видеосистема Intel HD Graphics ; дисковод, мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-94984-797-8

В книгу трудов включены доклады XVI Международного евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века», проходившего с 21 по 24 сентября 2021 г. в городе Екатеринбурге. Авторы трудов представляют научно-образовательные организации России и ближнего зарубежья (Беларуси).

В трудах рассмотрены актуальные вопросы теории и практики технологии подготовки круглых лесоматериалов и их переработки; деревянного домостроения; организации деревообрабатывающего производства и отделки изделий из древесины; теории резания древесины на станках, совершенствования и проектирования принципиально нового технологического деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента, повышения их точности и надежности; экологии и безопасности, а также эффективности использования инновационных и информационных технологий в прикладных исследованиях и образовании.

УДК 674(063)
ББК 37.13

Организационный комитет:

Е. П. Платонов – ректор, председатель; В. В. Фомин – проректор по НРИДиЦ, зам. председателя; М. В. Газеев – советник при ректорате, зам. председателя; Е. Е. Шишкина – директор ИТИ; Р. А. Осипенко – начальник управления молодежной политики; И. Г. Первова – директор ХТИ; Ю. А. Капустина – директор СЭИ; Ю. Л. Юрьев – зав. кафедрой ХТДБиН; А. В. Мялицин – зам. директора по науке ИТИ; А. В. Артемов – зам. директора по науке ХТИ; А. Г. Гороховский – зав. кафедрой УТСИИТ; Н. В. Куцубина – зав. кафедрой ТМиТМ; О. В. Маковеева – руководитель центра информационного обеспечения; В. Г. Новоселов – профессор кафедры УТСИИТ, ответственный секретарь сборника трудов симпозиума; Д. А. Серпов – администратор сайта симпозиума; А. Г. Магасумова – начальник УНИД; А. Б. Айдосов – начальник ОМСиВС, сопровождение иностранных участников мероприятия, модератор выставочной экспозиции; В. В. Побединский – и.о. зав. кафедрой ИС; О. Н. Чернышев – зав. кафедрой МОДиПБ; А. В. Мехренцев – зав. кафедрой ТОЛП.

Редакционная коллегия:

В. Г. Новоселов – ответственный секретарь; Е. Е. Шишкина; А. Г. Гороховский; А. В. Мехренцев; О. Н. Чернышев; Н. В. Куцубина; И. Г. Первова; Ю. А. Капустина; В. В. Побединский.

Рецензент:

П. С. Власов – генеральный директор ООО «Уралгипролеспром».

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

Ответственный за выпуск сборника В. Г. Новоселов
Дизайн обложки М. В. Газеева

ISBN 978-5-94984-797-8

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2021

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

От имени Уральского государственного лесотехнического университета приветствую всех участников XVI Международного евразийского симпозиума «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» и выставки LESPROM-URAL Professional. Желаю всем участникам и гостям обменяться идеями и предложениями, обсудить проблемы и найти формы взаимовыгодного делового сотрудничества, успешной работы и удачи!

Во время работы симпозиума ученые и специалисты из различных научных, образовательных и производственных организаций рассматривают вопросы совершенствования техники и технологии лесопромышленного комплекса от получения круглых лесоматериалов до готовых изделий с учетом национальных целей и стратегических задач развития Российской Федерации, которые ставятся президентом перед промышленными предприятиями. Совершенствование технологий на всех этапах передела продукции лесопромышленного комплекса обеспечит рост производительности труда на предприятиях и будет способствовать развитию российской экономики.

Мероприятие традиционно проводится на площадке выставочного центра и объединяет производителей и потребителей продукции лесопереработки, предприятий лесного машиностроения и лесного хозяйства, ученых, преподавателей и студентов уральских училищ, колледжей и университетов. Международный евразийский симпозиум заслуженно считается одним из значимых профессиональных мероприятий, проходящих в преддверии праздника «Дня работника леса». Уверен, что работа симпозиума пройдет на самом высоком уровне и будет способствовать дальнейшему развитию и укреплению профессиональных связей и развитию лесопромышленного потенциала нашей страны.

*С уважением,
ректор УГЛТУ*



Е. П. Платонов

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА

EFFICIENCY AND COMPETITIVENESS OF THE ENTERPRISES OF THE FOREST COMPLEX

УДК 630.6

А. В. Мехренцев, А. Ф. Уразова

(A. V. Mekhrentsev, A. F. Urazova)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) mehrentsevav@m.usfeu.ru

МЕРЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В КОНТЕКСТЕ ПЕРЕХОДА НА ИНТЕНСИВНУЮ МОДЕЛЬ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА НА УРАЛЕ

THE STATE SUPPORT MEASURES OF THE FOREST INDUSTRIAL COMPLEX IN THE CONTEXT OF THE TRANSITION TO THE INTENSIVE MODEL OF FORESTRY IN THE URALS

Статья посвящена рассмотрению вопроса государственной поддержки предприятий лесопромышленного комплекса при переходе на интенсивную модель ведения лесного хозяйства. Рассмотрены меры нефинансовой поддержки инвестиционной активности предприятий лесного сектора экономики со стороны государства и региональных органов исполнительной власти, направленные на организацию процесса лесозаготовок, при которых большое значение имеет правильное обоснование систем машин и технологий заготовки.

The article is devoted to the consideration of the issue of state support for enterprises of the timber industry complex during the transition to an intensive model of forestry management. The measures of non-financial support of investment activity of enterprises of the forest sector of the economy by the state and regional executive authorities aimed at organizing the logging process, in which the correct justification of machine systems and harvesting technologies is of great importance, are considered.

Современное состояние, тенденции развития и прогнозные оценки результативности предприятий лесного комплекса подтверждаются необходимостью взаимосвязи между лесозаготовительными возможностями, потребностями промышленности и требованиями экологии с учетом региональных социально-экономических и природных условий.

В ближайшей перспективе поставлена государственная задача формирования устойчивого лесопромышленного комплекса и безубыточного лесного хозяйства на основе внедрения инновационных технологий. В связи с этим одним из мероприятий по технологическому обновлению является гарантированное обеспечение экономики и общества лесными ресурсами, в том числе через интенсивное использование и воспроизводство лесов [1].

Основу интенсивных методов ведения лесного хозяйства представляют сортиментные технологии заготовки древесины на основе современных машинных комплексов, обеспечивающих выполнение сплошных рубок при высокой производительности лесосечных работ. Внедрение на предприятиях сортиментных методов заготовки

древесины с преимущественным использованием машин на колесной базе определяет появление новых задач в условиях региона и актуальность их решения.

Для решения этих задач требуются:

- разработка и принятие решений по обоснованию выбора машин и формированию лесозаготовительных бригад для проведения рубок главного пользования и рубок ухода за лесом;
- внедрение новых современных технологий при строительстве дорог и другой инфраструктуры;
- более широкое внедрение в практику лесного комплекса технологии лесосечных работ, обеспечивающей сокращение затрат на заготовку древесины при сохранении лесной среды. Наиболее полно этому отвечает сортиментная заготовка леса, которая позволяет значительно повысить эффективность производства при максимальном сохранении и воспроизводстве природной среды, а также значительно увеличить комплексную выработку, сократив тем самым затраты труда;
- применение при лесовосстановлении специализированных съемных орудий для харвестера, позволяющих повысить эффективность его загрузки в течение календарного года;
- освоение использования малогабаритной трелевочной техники, лебедочных приспособлений для реализации широкопосечных технологий [2].

Переход на сортиментную технологию лесозаготовительных предприятий позволит:

- применять гибкие технологии, осуществляя лесозаготовки при сплошных, выборочных рубках и рубках ухода за лесом;
- существенно снизить себестоимость производства круглых лесоматериалов без использования промежуточных складских площадей;
- сохранить подрост и уменьшить повреждения древостоя;
- исключить загрязнение поверхности лесоматериалов абразивными частицами почвы;
- снизить долю непроизводительных транспортных операций;
- уменьшить удельные энергозатраты;
- повысить комплексную выработку;
- повысить культуру лесозаготовительного производства.

Многооперационные машины для сортиментной заготовки леса подразделяются на группы в зависимости от назначения: харвестер, форвардер, процессор, харвардер. Практически все машины имеют высокую производительность, хороший дизайн, надежность, низкие эксплуатационные расходы, комфортность, удобство управления и эргономичность рабочего места оператора. Почти каждая такая машина находит свое практическое применение в технологических процессах на лесозаготовительных предприятиях РФ. Машины имеют свои классификации: по мощности, по назначению, по массе и др. [3].

При выборе оборудования и машин в целом нужно опираться прежде всего на производительность техники, которая оправдывала бы затраты на ее приобретение. Однако не стоит пренебрегать и показателями экологических требований, которые обусловлены выбросами, повреждением почвенного покрова, оставлением порубочных остатков и горюче-смазочных материалов, воздействие которых на лес должно быть исключено. В этой связи задача выбора и обоснования эффективных вариантов систем лесосечных машин при сортиментном методе лесозаготовок является достаточно актуальной.

При организации процесса лесозаготовок большое значение имеет правильное обоснование систем машин и технологий заготовки, которые должны основываться на необходимости выполнить заданный объем работ в установленные сроки с необходимыми экономическими, экологическими и социальными показателями. На сегодняшний день существует множество схем разработок лесосеки (рисунок) [4]. Например, рассмотрим технологию с заездами на полупасеки. Шаг примыкания заездов к волоку с каждой его стороны составляет около четырех эффективных вылетов манипулятора. Заезды на смежных полупасаках смещены на половину шага примыкания, что обеспечивает досягаемость всех деревьев на смежных полупасаках. Длина заездов при этом составляет до полутора длин эффективного вылета манипулятора и выполняется криволинейной, что обеспечивает плавное примыкание к волоку.

Отсутствие современной высокоэффективной техники, а также недостаток финансирования ее приобретения является причиной отсталости отрасли и низких темпов развития лесного предпринимательства.

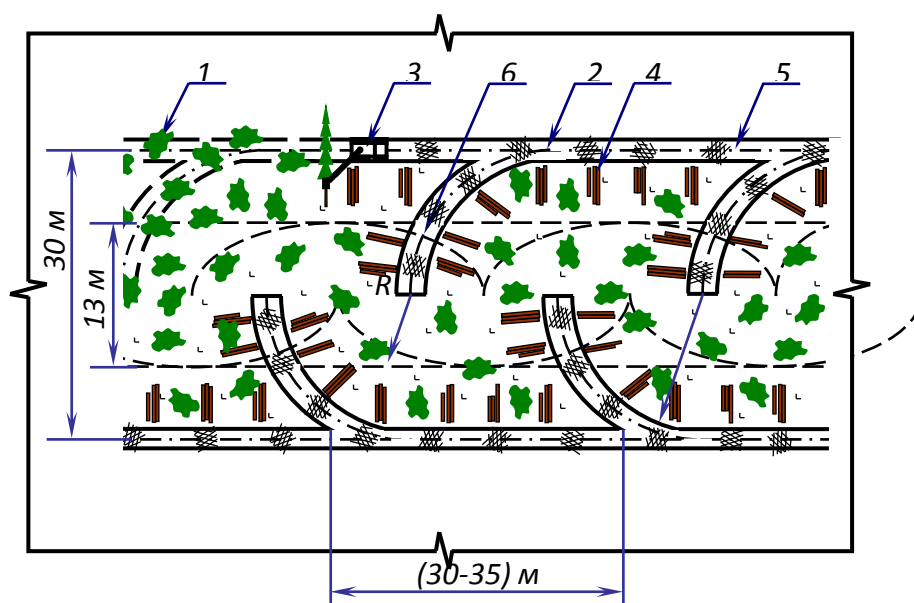


Схема работы харвестера с заездами на полупасеки:
 1 – растущий лес; 2 – волок; 3 – харвестер; 4 – пакет сортиментов;
 5 – порубочные остатки; 6 – заезд на полупасеку

Рассматривая перспективы развития сортиментной заготовки в условиях непрерывного лесопользования, следует определить задачи, которые необходимо решать при серьезной государственной поддержке и контроле:

- создание и обновление парка лесных машин;
- строительство лесных дорог круглогодичного действия;
- использование технически оснащенных средств автомобильного, водного транспорта, УЖД для транспортировки лесных грузов при соблюдении экологических нормативов по магистралям внутреннего назначения;
- восстановление и расширение производственных и кооперационных связей между лесозаготовительными и перерабатывающими предприятиями с целью устойчивого лесобеспечения, формирования единой ценовой политики на вырабатываемую продукцию (в том числе экспортного назначения);
- увеличение объемов выпуска продукции за счет введения новых и переоснащения действующих производственных мощностей;

- изменение структуры производства в сторону продукции глубокой переработки;
- внедрение на предприятиях технологий, обеспечивающих выпуск продукции по международным требованиям систем качества;
- создание на предприятиях условий для инвестиций с целью расширения производства и увеличения производственных мощностей;
- создание производственных мощностей по переработке низкосортной древесины и древесных отходов, в том числе развитие малой энергетики на базе использования биотоплива;
- содействие развитию лесной науки и образования.

В настоящее время предприятиям среднего и малого бизнеса довольно сложно обновить свои технические мощности в короткие сроки, ведь приобрести высокотехнологичный комплекс харвестер – форвардер, одновременно оплатив его стоимость, может не каждый.

Для решения данных задач и успешного функционирования ЛПК можно предложить ряд мер нефинансовой поддержки инвестиционной активности предприятий лесного сектора экономики со стороны государства и региональных органов исполнительной власти:

- методы реальной оценки лесных ресурсов на основе зонирования и лесной таксации, дебюрократизации доступа к использованию лесных ресурсов путем применения цифровых технологий в лесном хозяйстве, лесоустройстве и лесном документообороте на основе «одного окна»;
- создание региональных центров технического, технологического, инженерингового обеспечения лесного хозяйства на базе университетских комплексов;
- разработка региональных мер морального поощрения для добросовестных арендаторов лесных участков путем формирования регионального реестра добросовестных лесопользователей.

Восстановление элементов государственного планирования при устойчивом лесопользовании требует участия федеральных, региональных и муниципальных властей в формировании регионального и межрегионального рынка лесопродукции высоких технологических переделов:

- государственный и муниципальный заказ на лесопродукцию, используемую для реализации проектов в сфере социального и жилищного строительства, энергообеспечения муниципальных нужд;
- разработка мер по стимулированию заготовки и переработки низкосортной древесины, древесных отходов, макулатуры;
- создание муниципальных транспортно-технологических терминалов лесопродукции для обеспечения государственных нужд и населения (формат лесоторговой базы, лесного технопарка);
- заключение межрегиональных соглашений о сотрудничестве с целью развития кооперации;
- содействие участию в профессиональных выставках «Леспром-Урал профи» (Екатеринбург), «Лесдревмаш» (Москва), «Лигна» (Ганновер, Германия), «Финметко» (Ямса, Финляндия), «Элмиявуд» (Йончеппинг, Швеция);
- создание сети региональных лесных дорог, обеспечивающих государственные нужды по ведению лесного хозяйства на основе государственного планирования и использования механизма ГЧП при строительстве и эксплуатации на основе широкого использования местных строительных материалов (металлургических шлаков, отходов ЦБП и пр.);

- разработка мер, обеспечивающих безопасную и эффективную доставку лесных грузов в зимний период с повышенной полной массой лесовозного транспорта, поэтапная модернизация сети дорог общего пользования на повышенную несущую способность (до 14 т на ось);

- содействие переводу промышленного транспорта на газодизельное топливо путем размещения сети газозаправочных станций;

- восстановление региональной транспортной сети на основе водного транспорта и УЖД;

- включение лесопромышленного бизнеса в сферу формирования и контроля в сфере карбонового регулирования.

Существенная поддержка развитию отечественного лесного машиностроения будет опираться на разработку и производство на предприятиях ОПК комплекса машин и оборудования для выполнения лесохозяйственных работ государственными и муниципальными предприятиями.

Целевая бюджетная подготовка специалистов для предприятий лесного сектора экономики позволит формировать кадровый потенциал предприятий, способный решать задачи современного развития лесного производства.

Эффективное развитие лесной отрасли региона возможно при взаимодействии собственников предприятий (малого и среднего бизнеса), органов власти и общественных организаций с широким привлечением отраслевой науки.

Именно малый и средний бизнес способен частично решить социальные проблемы, принять высвобождающиеся кадры и стать опорой нового роста секторов экономики.

Предложенные меры поддержки инвестиционной активности обеспечат предприятия лесного комплекса оптимальными условиями устойчивого и неистощительного лесопользования в интересах экономики региона и страны в целом, включая условия для развития и воспроизводства лесных ресурсов.

Библиографический список

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 г. № 1989-р // Председатель Правительства Российской Федерации Д. А. Медведев. – URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (дата обращения: 28.06.2021).

2. Рациональные параметры технических элементов пилорамы для манипуляторных лесозаготовительных машин / Ю. Н. Безгина, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов, Н. Н. Теринов, А. Ф. Уразова // Хвойные бореальной зоны. – 2018. – Т. 36. – № 4. – С. 338–343.

3. Газеева Е. А., Уразова А. Ф. Классификация харвестеров и форвардеров // Деревообработка : технологии, оборудование, менеджмент XXI века : тр. IX Междунар. евразийского симпозиума ; под науч. ред. В. Г. Новоселова. – Екатеринбург, 2014. – С. 60–65.

4. Сортиментная заготовка древесины : учеб. пособие / В. А. Азаренок, Э. Ф. Герц, С. В. Залесов, А. В. Мехренцев. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2015. – 140 с.

УДК 330.3; 338.24; 334.021

А. В. Мехренцев¹, Е. Н. Стариков²

(А. V. Mekhrentsev, E. N. Starikov)

^{(1) УГЛТУ, ^{2) УрГЭУ, г. Екатеринбург, РФ)}}

mekhrentsev@yandex.ru, starik1705@yandex.ru

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО БИЗНЕСА:
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РЫНОЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ****FORMATION OF THE FOREST INDUSTRY BUSINESS ECOSYSTEMS:
TECHNOLOGICAL AND MARKET PRIORITIES**

В статье с опорой на анализ проектов, реализованных в лесной промышленности России при поддержке Фонда развития промышленности, выявлены основные технологические приоритеты современного этапа развития лесопромышленного бизнеса. Далее на основе анализа рыночных приоритетов развития регионального лесопромышленного комплекса Свердловской области авторами разработана структурно-территориальная схема формирования региональной производственно-технологической экосистемы лесопромышленного бизнеса на основе актуальных рыночных и технологических приоритетов. Предложен комплекс мероприятий промышленной политики, направленных на ее формирование и стимулирование развития.

The article, based on the analysis of projects implemented in the forest industry of Russia with the support of the Industrial Development Fund, identifies the main technological priorities of the current stage of development of the forest business. Further, based on the analysis of market priorities for the development of the regional forest-industrial complex of the Sverdlovsk region, the authors developed a structural-territorial scheme for the formation of a regional industrial and technological ecosystem of the forest business based on current market and technological priorities. A set of measures for industrial policy is proposed, aimed at its formation and stimulation of development.

Современный этап технологического развития предъявляет новые требования к промышленной политике как с точки зрения инструментария, так и с позиции формирования системы отношений между ее субъектами. Сегодня промышленная политика все больше приобретает характер координирующего компонента различных видов государственной политики по развитию экономики, включая научно-технологическую, инновационную, инвестиционную и пр., являясь при этом основным механизмом формирования структурно сбалансированной конкурентоспособной экономики. Нормативно-правовым базисом формирования и реализации современной промышленной политики России является Федеральный закон от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации»¹. В то же время появление в настоящее время новых приоритетов, связанных в том числе с цифровизацией экономики, требует очередной корректировки вышеуказанного закона и выделения новых стратегических ориентиров развития реального сектора экономики в целом и его отдельных отраслей, включая лесопромышленный сектор в частности.

Структурные приоритеты современной промышленной политики связаны с такими задачами, как опережающее развитие отечественного промышленного потенциала, обеспечивающего глобальную конкурентоспособность в ключевых технологических

¹ Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) // ГАРАНТ. – URL: <http://garant.ru>

областях, формирующих перспективный технологический уклад на основе цифровизации, и масштабная технологическая модернизация всех секторов национальной экономики на основе реализации направлений национальной технологической инициативы.

Особую роль в формировании действенной промышленной политики играет формирование промышленно-технологических отраслевых экосистем, позволяющих на основе гармонизации и согласования интересов участников инновационных процессов обеспечить их эффективное сотрудничество [1]. По мнению ряда авторов, такие экосистемы актуализируют способность всех секторов экономики к перманентному технологическому и институциональному обновлению, способствуют активизации развития процессов непрерывных инноваций и модернизации на высокотехнологичной основе [1–3]. Соответственно, повышается значимость промышленной политики как инструмента, стимулирующего развитие Индустрии 4.0, новых производственных технологий, «зеленой экономики» и переориентации инженерных и технологических систем на экологически дружелюбные.

Среди новых инструментов промышленной политики, которые были еще в 2014 г. предусмотрены Федеральным законом «О промышленной политике в Российской Федерации», важнейшая роль принадлежит Фонду развития промышленности (далее – ФРП), который, по сути, является финансовым механизмом современной промышленной политики и реализует широкий набор инструментов поддержки инвестиционных проектов на российских промышленных предприятиях, включая софинансирование и предоставление льготных займов для проектов, направленных на разработку новой высокотехнологичной продукции, импортозамещение, лизинг производственного оборудования, развитие станкостроения, цифровизацию действующих производств, производство комплектующих и повышение производительности труда [4].

За период функционирования ФРП уже выдано 824 займа на общую сумму более 180 млрд руб., включая займы на реализацию 44 проектов в сфере лесной промышленности в 22 регионах России (Республика Мордовия, ХМАО – Югра, Иркутская, Московская, Свердловская, Новгородская области, Хабаровский край, Еврейская автономная область, Ленинградская, Кировская, Ярославская, Костромская области, Республика Коми, Республика Карелия, Воронежская область, город Москва, Республика Бурятия, Нижегородская, Курская области, Удмуртская Республика, Архангельская, Калужская области)².

Анализируя проекты, поддержанные ФРП, можно выделить следующие технологические приоритеты развития лесопромышленного бизнеса:

- повышение производительности труда;
- цифровая трансформация бизнес-процессов;
- развитие производства картона, гофрокартона и изделий из него, облицовочных материалов для мебели;
- развитие производства бумажно-гигиенической продукции профессионального назначения (пеленки для детей и домашних животных, санитарно-гигиеническая продукция и т. п.);
- развитие технологий производства современных видов бумаги, современной тары и упаковки (экологически чистые бумажные пакеты, одноразовая деревянная биопосуда, упаковка для яиц, упаковка товаров народного потребления и др.);
- развитие современных технологий и производств биоэнергетики и биохимии (топливные гранулы (пеллеты), топливная щепа, древесный уголь и пр.)
- развитие современных производств фанеры и ЛВЛ-бруса из клееного шпона;

² <https://frprf.ru/o-fonde/>

- развитие утилизирующих производств с выпуском современных импортозамещающих материалов (ДСП, ЛДСП, OSB, МДФ, ХДФ, ДВП);
- комплексное использование древесины (производство хвойно-витаминной муки и пихтового масла из древесной зелени, дубильных экстрактов из коры, белковых кормовых дрожжей из древесного сырья и т. п.).

Кроме того, следует отметить необходимость формирования интенсивной модели ведения лесного хозяйства в условиях лесопромышленного предприятия – арендатора лесных земель на основе внедрения эффективных технологий лесовосстановления, применения удобрений и реализации лесомелиоративных мероприятий, а также проведения сплошных рубок, что в совокупности дает возможность значительно увеличить выход требуемых сортиментов с гектара, повысить рентабельность лесохозяйственных и лесозаготовительных мероприятий и уменьшить площади концентрированных рубок [5]. А также необходимо учитывать, что в современных условиях инновационная составляющая в развитии лесного комплекса является решающим фактором устойчивого, непрерывного и неистощительного использования лесов, поддержания конкурентоспособности отечественной лесобумажной продукции, максимального энерго- и ресурсосбережения, снижения отрицательного воздействия на окружающую среду, обеспечения энергетической переработки неликвидной древесины и древесных отходов производства [6].

Учитывая выявленные выше актуальные технологические тренды развития лесной промышленности, авторы считают, что Свердловская область является перспективной территорией для формирования комплексной региональной производственно-технологической экосистемы лесопромышленного бизнеса как с позиции наличия сырьевого потенциала, так и концентрации лесопромышленных предприятий.

Ядром такой экосистемы могут выступить крупные лесопромышленные комбинаты (плитные и целлюлозно-бумажные), осуществляющие выпуск конечной продукции, и лесопромышленные предприятия, реализующие инвестиционные проекты.

Реализация инвестиционных проектов приведет к росту потребности в лесосырьевых ресурсах и будет способствовать расширению кооперационных связей с лесозаготовительными и лесоперерабатывающими организациями по следующим направлениям:

- поставка лесосырьевых ресурсов;
- поставка тонкомерной древесины на целлюлозно-бумажные комбинаты;
- поставка пиломатериала на предприятия, производящие продукцию с более высокой добавленной стоимостью – евровагонку, доску пола, имитацию бруса;
- поставка отходов деревообработки на предприятия-утилизаторы.

Подобная организация взаимодействия может стать источником синергетического эффекта и даст стимул ускоренному развитию всей региональной экосистемы лесопромышленного бизнеса.

Структура лесопромышленного комплекса Свердловской области достаточно разнообразна. Он представлен различными сегментами. Так, основу производства пиломатериалов представляют предприятия малого и среднего бизнеса, большинство из которых сегодня ориентированы на осуществление экспортных поставок ввиду экономической привлекательности и стабильности спроса на зарубежных рынках. В этом сегменте лесопереработки наиболее перспективным направлением развития является модернизация действующих производств с переориентацией на выпуск пиломатериалов улучшенных геометрических размеров.

Крупную продуктовую группу в лесопромышленном бизнесе Свердловской области составляют плитные материалы. Древесностружечные плиты активно используются при производстве мебели, в первую очередь в низком ценовом сегменте. Высокие

транспортные издержки ввиду удаленности региона от зарубежных рынков создают существенные ограничения экспорту этого вида продукции [7]. В этой связи на территории Свердловской области сегодня актуально развитие производства плит OSB, МДФ/ХДФ.

Фанера составляет основу лесопромышленного экспорта Свердловской области. Доля экспортной продукции в объемах производства фанеры – порядка 60 %, что свидетельствует о высокой конкурентоспособности фанерной промышленности Свердловской области. Вместе с тем прогнозируемое в перспективе развитие строительного рынка и рынка деревянного домостроения должно увеличить спрос на фанеру на внутреннем рынке, что приведет к снижению экспортных поставок данного продукта.

Рынок деревянного домостроения в Свердловской области можно оценить как развивающийся умеренными темпами и недооцененный. Барьеры его развитию создаются несовершенством нормативно-правовой базы применения деревянных конструкций в строительстве, отсутствием эффективных и доступных механизмов кредитования и поддержки внутреннего производства современных деревянных конструкций, наличием большого рынка нелегального строительства и большого сегмента незарегистрированных полукустарных производств деревянных строительных материалов, а также недостаточной информированностью населения о преимуществах деревянных домов, в частности таких, как экологичность, воздухообмен, высокие теплоизоляционные свойства, гипоаллергенность, долговечность, эстетизм и т. д. [7]. При этом развитие этого сегмента лесопереработки в Свердловской области как более экологичной технологии строительства имеет существенный потенциал роста. Современные деревянные строительные материалы позволяют строить высотные, многоэтажные дома. При этом повышенную востребованность современных деревянных домов можно прогнозировать в экономсегменте при реализации программ переселения из ветхого и аварийного жилья.

Объем производства пеллет и брикетов в Свердловской области составляет ориентировочно 54 тыс. т в год (31,6 тыс. т.у.т.). Мощности региональных предприятий позволяют увеличить объем производства, однако в силу недостаточного развития внутреннего рынка данной продукции увеличения объемов ее производства пока не наблюдается. В то же время у предприятий Свердловской области имеются значительные резервы для увеличения производства биотоплива как на уже действующих производствах, так и на вновь создаваемых в рамках приоритетных инвестиционных проектов в области освоения лесов, при реализации которых основным условием является переработка древесных отходов, в том числе в биоэнергетических целях.

Учитывая сказанное, на основе актуальных рыночных и технологических приоритетов авторами разработана структурно-территориальная схема формирования региональной производственно-технологической экосистемы лесопромышленного бизнеса (таблица).

Созданию условий для формирования такой экосистемы и ее дальнейшего развития будет способствовать реализация следующих мероприятий промышленной политики:

- развитие лесного машиностроения;
- дальнейшее развитие внутрирегионального рынка лесоматериалов;
- внедрение новых востребованных программ по развитию лесоперерабатывающей промышленности, увеличение лесозаготовки (субсидирование затрат на строительство лесных дорог, на покупку котлов для производства тепло- и электроэнергии из местных видов топливных ресурсов);
- стимулирование развития биоэнергетики с целью увеличения переработки древесных отходов и неликвидной древесины;
- внедрение принципа планируемого лесопользования на основе Лесного плана и прогрессивных лесохозяйственных регламентов;

Структурно-территориальная схема формирования региональной производственно-технологической экосистемы лесопромышленного бизнеса в Свердловской области [6]

Перспективные технологии	Потенциальные рынки реализации продукции, включая рынки, формируемые в рамках Национальной технологической инициативы ³	Муниципальные образования, на территории которых сконцентрированы технологические компетенции
Производство биоизделий однокровного использования	– Рынок гигиенических товаров и ТНП; – HealthNet	Туринск, Новая Ляля
Интеллектуальные системы управления лесной техникой	– Точное приборостроение и транспортное машиностроение; – NeuroNet	Екатеринбург
Альтернативная энергетика (биоэнергетика, биотопливо)	– Рынок энергоресурсов и малой энергетики; – EnergyNet	Серов, Алапаевск, Новая Ляля
Мебельные технологии	– Рынок жилищного строительства и ТНП; – HealthNet	Екатеринбург, Верхняя Пышма, Нижний Тагил, Алапаевск
Экологические строительные технологии	– Рынок жилищного строительства, жилищные реновации; – рынок промышленного строительства; – HealthNet	Нижний Тагил, Верхняя Тура, Алапаевск
Производство современных импортозамещающих строительных и отделочных материалов	– Рынок жилищного строительства; – рынок промышленного строительства	Верхняя Салда, Красногурьевск, Алапаевск
Лесохимические технологии	– Рынок лакокрасочных материалов; – парфюмерная и медицинская промышленность; – рынок адсорбентов; – химическая промышленность и металлургия; – HealthNet	Кировград, Серов, Верхняя Тура, Алапаевск

³ Национальная технологическая инициатива (НТИ). – URL: [http:// nti2035.ru](http://nti2035.ru)

- проведение государственной инвентаризации лесов;
- разработка схемы приоритетного транспортного освоения перспективных лесных ресурсов региона;
- создание непрерывной системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров инженерно-технических работников лесопромышленного комплекса.

Важнейшим элементом с точки зрения обеспечения высокой эффективности функционирования региональной промышленно-технологической экосистемы лесопромышленного бизнеса является формирование и развитие кадрового потенциала отрасли. В настоящее время в лесопромышленном комплексе Свердловской области существует потребность в квалифицированных кадрах на базе среднего профессионального образования, в частности техник-электромеханик, электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования, техник, слесарь КИПиА, наладчик станков и оборудования в механообработке, токарь, фрезеровщик-универсал, мастер, оператор лесозаготовительного комплекса, слесарь, ремонтник и наладчик оборудования. Но наиболее остро работодатели испытывают потребность в специалистах с высшим профессиональным образованием таких специальностей, как инженер-механик, инженер-технолог, инженер-эколог. Формирование и развитие кадровой составляющей региональной промышленно-технологической экосистемы лесопромышленного бизнеса может обеспечить Уральский государственный лесотехнический университет – одно из ведущих учреждений России в сфере лесотехнического образования.

Библиографический список

1. Романова О. А. Инновационная компонента новой индустриализации // Изв. Урал. гос. экон. ун-та. – 2017. – № 5 (73). – С. 81–92.
2. Ленчук Е. Б. Курс на новую индустриализацию – глобальный тренд экономического развития // Проблемы прогнозирования. – 2016. – № 3 (156). – С. 132–143.
3. Новая промышленная политика России в контексте обеспечения технологической независимости / отв. ред. Е. Б. Ленчук. – СПб. : Алетей, 2016. – 336 с.
4. Евсеева М. В., Стариков Е. Н., Воронов М. П. Уровень технологического развития индустриальных регионов: экосистемный подход // Управленец. – Т. 12. – № 3. – С. 13–30. DOI: 10.29141/2218-5003-2021-12-3-2
5. Мехренцев А. В., Стариков Е. Н., Платонов Е. П. Об основных направлениях стратегического развития лесопромышленного комплекса ХМАО – Югры // Дискуссия. – 2012. – № 12 (30). – С. 63–69.
6. Стариков Е. Н., Раменская Л. А. Формирование цифровой экономики Свердловской области: предпосылки, тренды и направления технологического развития // Региональная экономика : теория и практика. – 2018. Т. 16. – № 8 (455). – С. 1429–1444.
7. Пинягина Н. Б., Горшенина Н. С. Анализ состояния и перспективы стратегического развития лесного комплекса России // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 8-4 (85). – С. 588–604.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЗАГОТОВКЕ, ПЕРЕРАБОТКЕ И ОТДЕЛКЕ ДРЕВЕСИНЫ

NEW TECHNOLOGICAL DECISIONS IN PREPARATION, PROCESSING AND FINISHING OF WOOD

УДК 674.093.6-413.82

А. В. Мехренцев, Б. Е. Меньшиков, Е. В. Курдышева
(**A. V. Mekhrentsev, B. E. Menshikov, E. B. Kurdysheva**)
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) kurdyshevaev@m.usfeu.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕСОПИЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ БАЛАНСА ДРЕВЕСИНЫ И ЦЕННОСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF TIMBER MILLING ON THE BASIS OF WOOD BALANCE AND VALUE COEFFICIENTS

Приведены данные по ценностным коэффициентам различных видов продукции лесопиляющего производства и их выходу из сырья, которые можно использовать для оценки эффективности производства основной и сопутствующей продукции.

The data on the value coefficients of various types of forest products and their output from raw materials, which can be used to assess the efficiency of production of the main and related products, are given.

В лесопиляющих цехах лесозаготовительных предприятий перерабатываются круглые лесоматериалы различных пород, размерно-качественных характеристик и вырабатывается продукция очень широкой номенклатуры.

Одним из важнейших критериев эффективности использования сырья при переработке является усредненная ценностная оценка отдельных компонентов баланса древесины.

В условиях рационального комплексного использования древесины необходима суммарная комплексная оценка различных соотношений видов и количества продукции лесопиляющих производств. К числу этих видов продукции можно отнести основную (пиломатериалы различных пород, сортов, видов, назначения и размеров, комплектные заготовки, строганные и калиброванные пиломатериалы, конструкционные пиломатериалы с гарантированной прочностью и др.) и сопутствующую (технологическая щепка различного назначения, технологические опилки). Все эти виды продукции оценивались по преysкурантной отпускной цене или по эквивалентным ценностным коэффициентам, отражающим с большим или меньшим укрупнением и приближением отпускные преysкурантные цены на сырье и продукцию. Для конкретных случаев эти коэффициенты должны быть уточнены в соответствии с состоянием цен на рынке в данное время [1].

Ценностные коэффициенты сортности пиломатериалов характеризуют качественный выход. Присвоенные каждому сорту ценностные коэффициенты, ранее разработанные Центральным научно-исследовательским институтом механической обработки древесины (ЦНИИМОД) и утвержденные Министерством лесной и деревообрабатывающей промышленности на пиломатериалы различного назначения хвойных и лиственных пород приведены в табл. 1. В условиях рыночных отношений цена

на пилопродукцию определяется спросом на рынке. Различные виды продукции имеют разную стоимость. За единицу ценностного коэффициента принимается стоимость 1 м³ обрезных хвойных пиломатериалов (кроме лиственницы) 3-го сорта по ГОСТ 8486-86 толщиной 25–32 мм, длиной 2,0–6,5 м [2, 3].

Сравнение ранее принятых ценностных коэффициентов при плановой экономике в СССР, разработанных ЦНИИМОД, и современных рыночных показателей выявило, что они имеют близкие значения и отражают реальную стоимость пилопродукции, что говорит о возможности их использования и в рыночных отношениях.

Таблица 1

Сравнительная таблица ценностных коэффициентов на сырье и продукцию лесопиления

Сырье и продукция лесопиления	Ценностные коэффициенты	
	СССР	Современная Россия
Пилоочник хвойный диаметром 22–38 см	0,56	0,54
Пиломатериалы хвойных пород 3-го сорта	1	1
Пиломатериалы экспортные хвойных пород бессортные	1,94	1,94
Черновые заготовки	3	3
Щепа гидролизная	0,25	0,3
Щепа еловая для ЦБП	0,48	0,47
Опилки	0,073	0,07

Приведенные ценностные коэффициенты отдельных видов основной (пиломатериалов) и сопутствующей (горбылей, щепы, опилок) продукции и данные по их выходу, зависящему от размерно-качественных характеристик сырья и вырабатываемой продукции, способов и схем раскря, применяемого технологического оборудования, можно использовать для анализа эффективности лесопиления при различном выходе отдельных видов продукции и направлениях использования.

Опирируя ценностными коэффициентами, проведем анализ выхода и использования основной и сопутствующей продукции. На рисунке приведен баланс древесины на 100 % объема сырья при различном проценте выхода пиломатериалов.

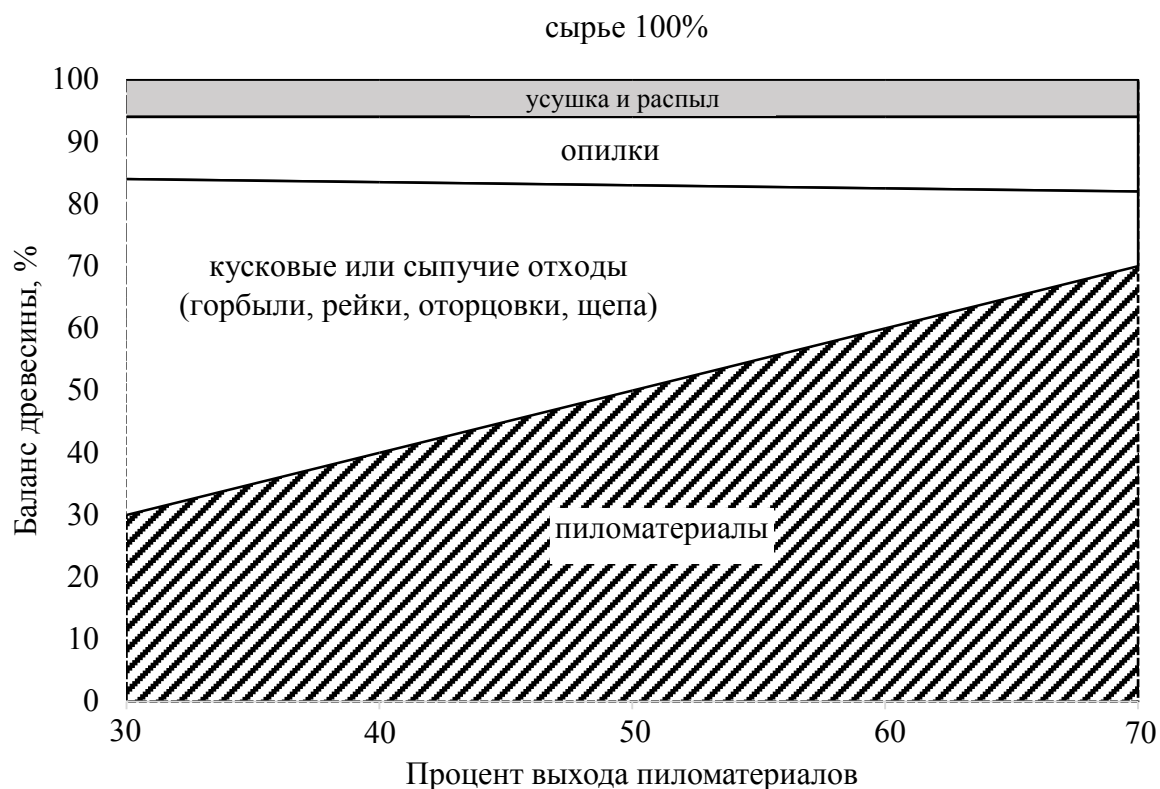
Выход пиломатериалов в зависимости от размерно-качественных характеристик сырья, применяемого технологического оборудования, способов раскря и т.д., изменяется от 30 до 70 %.

Второй компонент баланса древесины – это кусковые и сыпучие отходы (горбыли, рейки, оторцовки, технологическая щепа), которые изменяются в пределах от 54 до 12 %; опил – от 10 до 12 %, потери на усушку и распыл – 6 % [4].

В табл. 2 рассмотрено четыре варианта использования основной и сопутствующей продукции при её различном выходе (при переработке 100 м³ сырья). При расчетах для каждого из компонентов баланса древесины учитываются следующие ценностные коэффициенты: пиломатериалы – 1, кусковые отходы и опилки – 0,07, технологическая щепа – 0,3, блок-хаус – 1,5. Цена 1 м³ принимается 8000 руб. (по состоянию на январь 2021 г.). Во всех случаях основной реализуемой продукцией являются пиломатериалы, а направления использования сопутствующей продукции разнообразны:

– вариант 1 предусматривает реализацию только пилопродукции, остальные компоненты балансы – кусковые отходы (горбыли, рейки) и опилки утилизируются или сжигаются. При этом предприятие несет дополнительные затраты, связанные с их утилизацией;

- вариант 2 – вся сопутствующая продукция (кусковые отходы, опилки) используется как топливо;
- вариант 3 предусматривает производство технологической щепы вместо кусковых отходов и ее реализацию, опилки используются в качестве топлива;
- вариант 4 предполагает использование горбылей для переработки на профильные фрезерованные детали – блок-хаус и технологическую щепу. Выход блок-хауса составляет 30 % от объема горбылей. Стоимость блок-хауса может меняться в зависимости от породы, влажности, сортности, степени обработки, наличия тех или иных пороков, в среднем принимается 12 000 руб/м³.



Баланс древесины на 100% объема сырья
при различном проценте выхода пиломатериалов

Стоимость реализуемой продукции (на 100 м³ сырья) при различных вариантах рационального использования кусковых и сыпучих отходов изменяется: при выходе пиломатериалов 30 % – от 2400 до 5307 руб., 40 % – от 3200 до 5556 руб., 50 % – от 4000 до 5804 руб., 60 % – от 4800 до 6052 руб., 70 % – от 5600 до 6301 руб.

По приведенному графику баланса древесины на 100 % объема сырья при различном проценте выхода пиломатериалов (см. рисунок) и сравнительным показателям эффективности различных вариантов использования основной и сопутствующей продукции (см. табл. 2) можно сделать следующие выводы.

1. Проведенные исследования эффективности лесопиления на основе баланса древесины показывают методику определения комплексного использования древесины при различных процентах выхода основной и сопутствующей продукции с учетом их ценностных коэффициентов.

Таблица 2

Сравнительные показатели эффективности лесопиления при различных вариантах использования основной и сопутствующей продукции (при переработке 100 м³ сырья)

Варианты использования	Виды реализуемой основной и сопутствующей продукции	Ценностный коэффициент / Стоимость*, руб/м ³	Стоимость продукции при различном проценте выхода пиломатериалов				
			30 %	40 %	50 %	60 %	70 %
1	Пиломатериалы	1/8000	2400	3200	4000	4800	5600
2	Пиломатериалы	1/8000	2400	3200	4000	4800	5600
	Кусковые отходы и опилки	0,07/560	358	302	246	190	134
	Итого		2758	3502	4246	4990	5734
3	Пиломатериалы	1/8000	2400	3200	4000	4800	5600
	Технологическая щепа	0,3/2400	1296	1044	792	540	288
	Опилки	0,07/560	56	59	62	64	67
	Итого		3752	4303	4854	5404	5955
4	Пиломатериалы	1/8000	2400	3200	4000	4800	5600
	Блок-хаус	1,5/12000	1944	1566	1188	810	432
	Технологическая щепа	0,3/2400	907	731	554	378	202
	Опилки	0,07/560	56	59	62	64	67
	Итого		5307	5556	5804	6052	6301

* Стоимость продукции приведена на январь 2021 г.

2. При одинаковом объеме производства пиломатериалов снижение процента выхода основных компонентов баланса древесины влечет за собой снижение общей стоимости всей выпускаемой продукции. При рациональном использовании сопутствующей продукции стоимость можно значительно повысить.

3. Повышение процента выхода пиломатериалов уменьшает расход сырья, затраты на его подготовку, хранение, транспортировку и т. д.

4. Предложенная методика, связанная с анализом различного комплексного использования древесины, позволяет обоснованно подходить к оценке и выбору оптимальных вариантов переработки сырья на основную и сопутствующую продукцию с учетом наиболее эффективных направлений ее использования.

5. Полный комплексный анализ эффективности лесопиления можно провести с учетом всех затрат на сырье.

Библиографический список

1. Песоцкий А. П., Ясинский В. С. Рациональное использование древесины в лесопилении. – М. : Лесн. пром-сть, 1977. – 128 с.

2. Куроптев П. Ф., Щеглов В. Ф., Панасевич Т. Г. Справочник мастера лесопильного производства. – М. : Лесн. пром-сть, 1990. – 208 с.

3. Нормы расхода сырья и материалов в лесной промышленности: справочник. – М. : Лесн. пром-сть, 1973. – 176 с.

4. Азаренок В. А., Кошелева Н. А., Меньшиков Б. Е. Лесопильно-деревообрабатывающие производства лесозаготовительных предприятий : учеб. пособие. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 593 с.

УДК 674.028.9+674.049.2

О. А. Рублева¹, А. Г. Гороховский², Е. Е. Шишкина²
(О. А. Rubleva¹, A. G. Gorokhovskiy², E. E. Shishkina²)

(¹ВятГУ, г. Киров, ²УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: olga_ru@vyatsu.ru

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ДЛИНЕ И ИХ СТОЙКОСТИ К ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

METHODS FOR ESTIMATING THE LONG-TERM STRENGTH OF GLUED END JOINTS AND THEIR RESISTANCE TO THE TEMPERATURE AND HUMIDITY EFFECTS

Сращивание по длине является востребованной мерой для выработки длинномерных заготовок. Для определения прочности соединений по длине наиболее часто применяют механические испытания. Эти методы наиболее целесообразны и для опытных образцов соединений новых типов, к которым относится разработанное авторами соединение на прессованные прямоугольные шипы. Типовые испытания на растяжение и изгиб показали применимость этих соединений для производства несущих конструкций. Для определения возможности расширения сферы применения соединений на прессованные шипы необходимо установить ряд дополнительных показателей. К ним относятся длительная прочность и стойкость к температурно-влажностным воздействиям. В существующих стандартах эти методы предполагают

другие виды испытаний, например определение прочности при скалывании. Поэтому предложенные ранее методы требуют адаптации применительно к клеевым соединениям по длине.

Lenghwise splicing is a popular measure for the production of long workpieces. Mechanical tests are most often used to determine the strength of end joints. These methods are most appropriate for prototypes of new types of joints, which include the joint on pressed rectangular tenons developed by the authors. Tensile and flexural type tests have shown the applicability of these joints for the production of non-structural structures. It is necessary to establish a number of additional indicators to determine the possibility of expanding the scope of the joints on pressed tenons. These include long-term strength and resistance to the temperature and humidity effects. In existing standards, these methods involve other types of tests, for example, determination of shear strength. Therefore, the previously proposed methods require adaptation in relation to glued joints for splicing.

В условиях дефицита качественного пиловочного сырья сращивание по длине является необходимой и весьма востребованной мерой для выработки длинномерных деталей из короткомерных заготовок. Клееные детали применяют для производства широкого спектра продукции деревообрабатывающих производств: столярных плит, клееных щитов, клееного бруса, оконных и дверных блоков, клееных деревянных конструкций. Качество клеевых соединений играет ключевую роль в обеспечении эксплуатационных показателей, качества и долговечности этих изделий.

Перечни показателей качества изделий и требования к качеству соединений изложены в ряде нормативных документов: ГОСТ 4.223-83, ГОСТ 4.226-83, ГОСТ 475-2016, ГОСТ 20850-2014, СП 64.13330.2017; стандартах для деревянных клееных конструкций серии СТО 36554501, например СТО 36554501-001-2006 «Деревянные клееные конструкции. Методы испытаний клеевых соединений при изготовлении» и др. [1–8]. Среди показателей качества соединений рассматриваются прочность, точность формирования шипов, толщина клеевого слоя, зазор в стыках и др. Наиболее значимым показателем качества клеевого соединения является его прочность [9]. Оценка показателей прочности с помощью выборочных испытаний типовых образцов механическим разрушением является максимально информативной для серии однородной продукции и особенно целесообразна при проектировании и изготовлении опытных образцов [10].

Авторами предложена новая технология формирования профиля шипового соединения торцовым прессованием, отличающаяся экономичностью и широкой вариативностью геометрических параметров шипов [11–14]. В работе [15] показаны результаты механических испытаний прочности соединений на прессованные прямоугольные шипы при изгибе и растяжении по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014. Установлено, что показатели прочности клеевых соединений нового типа соответствуют требованиям, предъявляемым к заготовкам для изготовления изделий, эксплуатируемых во внутренних отапливаемых помещениях, в том числе несущих и самонесущих ограждающих конструкций и предметов интерьера, в частности дверных и оконных блоков (ГОСТ 30972-2002, ГОСТ 24700-99), деталей мебели, напольных покрытий, подоконников и т.п.

Для определения возможности расширения сферы применения соединений на прессованные шипы необходимо установить ряд дополнительных показателей, используемых для оценки длительной прочности и стойкости к температурно-влажностным воздействиям. Эти показатели не регламентируются стандартами на клеевые соединения по длине (ГОСТ 19414), детали и изделия деревянные для зданий (ГОСТ 11047), заготовки и детали деревянные клееные для оконных и дверных

блоков (ГОСТ 30972) и другими стандартами на несущие и самонесущие ограждающие конструкции, конструкции предметов интерьера. Такие требования приведены в основном в стандартах на клееные несущие деревянные конструкции. Для разработки показателей длительной прочности и стойкости к температурно-влажностным воздействиям клеевых соединений по длине на прессованные шипы необходим анализ этой нормативной документации.

Требования к клееным несущим деревянным конструкциям приведены в ГОСТ 20850-2014. В стандарте регламентируются значения показателей прочности как элементов конструкций в целом, так и их слоев. Для соединений по длине нормированы значения минимального предела прочности на изгиб, определенного по ГОСТ 33120-2014. Остальные методы определения показателей прочности относятся к другим типам соединений, например предел прочности на послойное скалывание – к боковому соединению на гладкую фугу.

В другом ссылочном стандарте ГОСТ 33121-2014 установлены методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям. Для механических испытаний используются образцы для определения прочности при скалывании вдоль волокон. Для соединений по длине таких испытаний не предусмотрено. Предшествовавшие ГОСТ 33121 стандарты ГОСТ 19100-73, ГОСТ 17580-82 рекомендовали применение указанных методов при разработке технических требований к конструкциям, при проверке новых видов клеев и разработке технологических режимов склеивания.

Методы определения длительной прочности клеевых соединений деревянных клееных конструкций установлены ГОСТ 34349-2017. Стандарт предусматривает испытание образцов на скалывание при растяжении и растяжение клеевого торцевого соединения впритык.

Таким образом, в рассмотренных стандартах не предложены методы оценки длительной прочности и стойкости к температурно-влажностным воздействиям непосредственно для клеевых соединений по длине. При разработке методов и режимов проведения подобных испытаний для клеевых соединений по длине можно опираться на положения, изложенные в рассмотренных выше стандартах.

По аналогии с методиками, предложенными в ГОСТ 33121-2014, показатели могут быть определены следующим образом.

1. Водостойкость может быть определена путем испытаний соединений на прочность при растяжении и изгибе по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014 после вымачивания их в воде в течение 48 ч и кипячения в течение 3 ч в мокром и сухом состоянии. Относительная прочность клеевых соединений мокрых и высушенных образцов рассчитывается как отношение среднего арифметического результатов испытаний к результатам испытаний контрольных образцов, не подвергавшихся вымачиванию и кипячению. Группа водостойкости устанавливается в зависимости от абсолютных и относительных значений прочности соединений (по п. 6.10 ГОСТ 33121-2014).

2. Стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям может быть определена путем испытаний соединений на прочность при растяжении и изгибе по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014 после 40 циклов температурно-влажностных воздействий (при проведении научно-исследовательских работ количество циклов может быть изменено). Цикл включает вымачивание в течение 20 ч, выдержку в морозильной камере при температуре -20°C в течение 6 ч, оттаивание в течение 16 ч, сушку при температуре 60°C в течение 6 ч. Относительная прочность соединений рассчитывается как отношение среднего арифметического результатов испытаний к результатам испытаний контрольных образцов, не подвергавшихся

циклическим температурно-влажностным воздействиям. Полученные значения относительной прочности позволяют установить группу стойкости (по п. 7.9 ГОСТ 33121-2014).

3. Теплостойкость соединений может быть определена путем испытаний соединений на прочность при растяжении и изгибе по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014 после выдержки в термокамере при температуре 90 °С в течение двух недель, морозостойкость – после вымачивания в течение 48 ч, выдержки в морозильной камере при температуре –20 °С в течение двух недель, выдержки в нормальных температурно-влажностных условиях в течение двух недель. Относительная прочность соединений рассчитывается как отношение среднего арифметического результатов испытаний к результатам испытаний контрольных образцов, не подвергавшихся температурно-влажностным воздействиям. Полученные значения относительной прочности позволяют установить группу тепло- или морозостойкости (по п. 8.10 ГОСТ 33121-2014).

4. Атмосферостойкость соединений может быть определена путем испытаний соединений на прочность при растяжении и изгибе по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014 после выдержки на испытательных стендах испытательных площадок в атмосферных условиях в течение 1, 3, 6, 9, 12 мес. и выдержки в нормальных температурно-влажностных условиях в течение двух недель. Относительная прочность соединений рассчитывается как отношение среднего арифметического результатов испытаний к результатам испытаний контрольных образцов, не подвергавшихся атмосферным воздействиям. Полученные значения относительной прочности позволяют установить группу атмосферостойкости (по п. 9.10 ГОСТ 33121-2014).

5. Стойкость соединений к расслаиванию может быть определена путем испытаний соединений на прочность при растяжении и изгибе по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014 после обработки в автоклаве или вымачивания в холодной или кипящей воде. Режимы назначаются в зависимости от класса функциональной ответственности конструкции в соответствии с нормативными требованиями (например по ГОСТ 20850). В соответствии с п. 10.10 ГОСТ 33121-2014 за положительный результат испытаний будет приниматься относительное значение предела прочности не менее 10 % от прочности контрольных образцов.

6. Длительная прочность может быть найдена путем определения времени до разрушения при заданном уровне нагрузки (0,7; 0,8; 0,9 от кратковременной прочности контрольных образцов) при растяжении и изгибе по ГОСТ 15613.5-79, ГОСТ 15613.4-78, ГОСТ 33120-2014.

Предложенные методы оценки длительной прочности клеевых соединений по длине и их стойкости к температурно-влажностным воздействиям могут быть применены для определения возможности использования соединений нового типа в различных конструкциях, в том числе несущих. Недостатком предложенных методов является отсутствие в настоящий момент времени результатов подобных испытаний для аналогов – соединений на фрезерованные зубчатые шипы. В этой связи применимость предложенных методов требует конструктивной дискуссии.

Библиографический список

1. ГОСТ 15613.4-78. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при статическом изгибе. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 5 с.
2. ГОСТ 15613.5-79. Древесина клееная массивная. Метод определения предела прочности зубчатых клеевых соединений при растяжении. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 7 с.
3. ГОСТ 19414-90. Древесина клееная массивная. Общие требования к зубчатым клеевым соединениям. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.

4. ГОСТ 20850-2014. Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 15 с.
5. ГОСТ 23166-99. Блоки оконные. Общие технические условия. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. – 45 с.
6. ГОСТ 24700-99. Блоки оконные деревянные со стеклопакетами. Технические условия. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. – 55 с.
7. ГОСТ 475-2016. Блоки дверные деревянные и комбинированные. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2017. – 33 с.
8. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции : свод правил : актуализированная редакция СНиП II-25-80: дата введения 2017-08-28 / разработаны Центральным научно-исследовательским институтом строительных конструкций имени В. А. Кучеренко. – М. : Стандартинформ, 2019. – 140 с.
9. Рублева О. А., Гороховский А. Г. Прочность склеивания древесины по длине на прямоугольные шипы // Хвойные бореальной зоны. – 2019. – Т. XXXVII. – № 5. – С. 358–366.
10. Рублева О. А., Гороховский А. Г. Оценка прочности клеевых соединений по длине на прямоугольные шипы // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы : социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики : матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2019. – С. 59–61.
11. Пат. 2741614 Российская Федерация, В27F1. Способ формирования элементов шиповых соединений деревянных заготовок / Рублева О. А. – № 2011116271/13 ; заявл. 25.04.2011 ; опубл. 10.01.2013 ; приоритет 25.04.11.
12. Rubleva O. A., Gorokhovskiy A. G. Prediction model for the pressing process in an innovative forming joints technology for woodworking // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Т. 537. – № 2. – Ст. 022064. DOI: 10.1088/1757-899X/537/2/022064.
13. Rubleva O. A. Structural changes of Scots pine wood caused by local pressing in the longitudinal direction // Drewno. – 2019. – Т. 62. – № 204. – С. 23–39. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.268.06.
14. Рублева О. А. Формирование прямоугольных шипов способом торцового прессования // Лесотехн. жур. – 2013. – № 4 (вып. 12). – С. 126–133. DOI: 10.12737/2191.
15. Рублева О. А., Гороховский А. Г. Экспериментальная оценка прочности склеивания древесины по длине на прямоугольные прессованные шипы // Лесн. жур. – 2020. – № 3. – С. 128–142. DOI 10.37482/0536-1036-2020-3-128–142.

УДК 674.049

Н. А. Тарбеева, О. А. Рублева

(N. A. Tarbeeva, O. A. Rubleva)

(ВятГУ, г. Киров, РФ) nataly.ntar534@yandex.ru

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

THE MECHANISM OF FORMATION OF THE MODIFIED SURFACE LAYER OF WOOD BLANKS

Комбинированный способ модифицирования заготовок из древесины на основе обжига, браширования, прессования и термической обработки позволяет комплексно повышать физико-механические и декоративные показатели свойств сырья. Для понимания механизма формирования модифицированного слоя поэтапно исследованы

изменения структуры древесины. Условно определены границы модифицированного слоя. Установлен перечень факторов и параметров режимов, оказывающих влияние на качество модифицированного слоя.

The combined method of modifying wood blanks on the basis of firing, brushing, pressing and heat treatment makes it possible to comprehensively increase the physical, mechanical and decorative properties of raw materials. To understand the mechanism of the formation of a modified layer, changes in the structure of wood were studied step by step. The boundaries of the modified layer are conditionally defined. A list of factors and parameters of modes has been established that affect the quality of the modified layer.

В настоящее время в связи с ограниченным запасом древесины ценных твердолиственных пород и общемировыми тенденциями ресурсосбережения и рационального природопользования большое внимание в деревообрабатывающей промышленности уделяется вопросам переработки малоценной низколиквидной древесины и древесных отходов [1]. Задачи по разработке экологически безопасных технологий модифицирования древесины, направленных на повышение физико-механических и декоративных показателей свойств низколиквидного сырья, приобретают особую актуальность.

Большинство современных технологий модифицирования основано на процессах пропитки, прессования и термической обработки деревянных заготовок [2]. Механизмы процессов модифицирования древесины и соответствующие изменения структуры исследованы в ряде работ [3–5]. Устранение природных недостатков древесины, таких как низкая твердость и прочность, невысокая био- и влагостойкость, достигается за счет повышения плотности материала, снижения его пористости и проницаемости. Часто технологии модифицирования характеризуются низкой экологичностью, высокой энергозатратностью и трудоемкостью, а также продолжительностью процесса обработки.

Авторами предложен новый способ модифицирования заготовок из древесины хвойных пород, основанный на совокупности операций обжига, браширования, прессования и термической обработки, способствующий комплексному повышению как декоративных, так и физико-механических показателей свойств сырья. Предыдущие исследования способа позволили установить его целесообразность для изготовления отделочных материалов и облицовочных изделий [6]. Недостаточно изученным остается вопрос, связанный со структурными изменениями древесины и определением глубины модифицированного слоя. Целью данной работы является исследование механизма формирования модифицированного поверхностного слоя древесины. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- поэтапно определить изменения структуры поверхностного слоя древесины в результате обжига, браширования, прессования и термической обработки;
- определить глубину модифицированного слоя;
- установить соответствие изменений структуры и свойств модифицированной древесины;
- выявить основные факторы и параметры режимов комбинированной обработки.

Исследование проводили на образцах из древесины сосны, уплотненных до степени прессования 40 % и термически обработанных при температуре 180 °С в течение 1 ч. Изменение структуры наблюдали по торцовым шлифованным поверхностям заготовок с помощью микроскопа МБС-10.

Первым этапом комбинированной обработки деревянных заготовок является обжиг. Механизм поверхностного обжига имеет общие закономерности с механизмами процессов пиролиза древесины и термической обработки. Процесс протекает в 4 фазы: 1) нагрев древесины; 2) испарение влаги; 3) пиролиз древесины, образование конденсированного и газообразных продуктов пиролиза; 4) горение газообразных продуктов пиролиза [7].

Модифицированный обжигом слой включает две зоны: слой угля и зону пиролиза (рис. 1). Суммарная толщина модифицированного слоя главным образом определяется продолжительностью обработки. Обугливание происходит последовательно, распространяясь от поверхности в глубь сечения материала в среднем скоростью 0,7–1 мм/мин [8]. Скорость обугливания зависит от ряда факторов: плотности и влажности древесины, температуры обжига, ориентации заготовки в пространстве, притока воздуха, размеров и формы заготовки, количества обжигаемых сторон заготовки, шероховатости поверхности, наличия трещин. Указанные факторы можно рассматривать как параметры режима обжига.

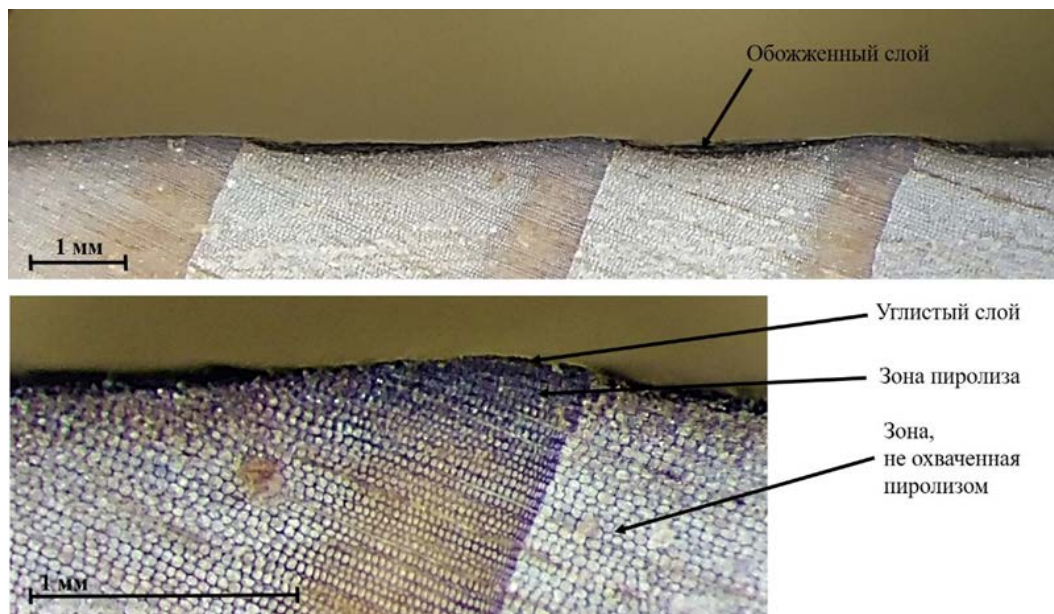


Рис. 1. Структура обожженного слоя

В результате обжига древесина становится менее восприимчивой к воздействию грибков, микроорганизмов и влаги за счет термодеструкции углеводных и ароматических компонентов в поверхностном слое и закупорки пор. Малая продолжительность процесса обжига обуславливает слабый характер деструкции структурных элементов древесины, особенно во внутренних слоях. При обработке обжигом до образования равномерно обугленной поверхности с небольшими трещинами толщина углистого слоя не превышает 0,3 мм (2–3 слоя клеток), а толщина зоны пиролиза – 0,5 мм (10–15 слоев клеток). При этом за счет разности плотностей ранней и поздней зон древесины в модифицированном слое на участках ранней зоны преобладает слой угля, на участках поздней – слой пиролиза.

Происходящий в процессе термодеструкции разрыв молекулярных цепочек гемицеллюлоз приводит к увеличению устойчивости древесины к сжатию [9]. Но значительное увеличение жесткости поверхностных слоев древесины является нежелательным с точки зрения дальнейшей обработки давлением, так как может стать причиной разрушения материала. Это ставит необходимость ограничивать интенсивность обработки поверхностным обжигом за счет выбора оптимальных параметров режима.

Вторым этапом обработки является браширование. Брашированием снимают часть модифицированного слоя, формируя «гребенчатый» рельеф. Шероховатость поверхности после обработки составляет R_{max} 800–1200 мкм. В зоне поздней древесины удаляется только верхний хрупкий углистый слой, на поверхность «гребня» выходит

зона пиролиза глубиной не более 0,3 мм. Модифицированный слой в зоне ранней древесины удаляется полностью. Поверхность «впадины» сформирована не подвергшимися пиролизу слоями клеток ранней и поздней зон (рис. 2).

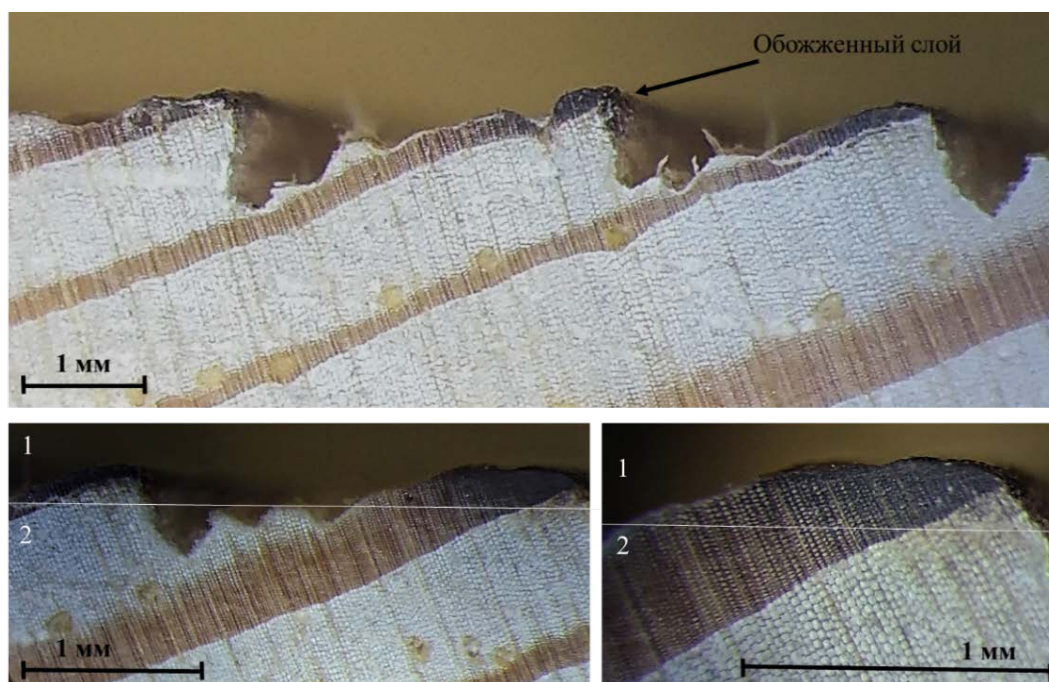


Рис. 2. Структура поверхности после браширования:
1 – зона пиролиза; 2 – зона, не охваченная пиролизом

Таким образом, в результате обработки заготовок из древесины обжигом и брашированием на поверхности формируется модифицированный слой, соответствующий природной структуре древесины. Участки ранней зоны (впадины) остаются незащищенными и наиболее уязвимыми для воздействия влаги и микроорганизмов. Этот фактор в совокупности с высокой шероховатостью поверхности является причиной ускоренного разрушения материала.

Управлять процессом браширования (снизить шероховатость поверхности) можно путем регулирования таких факторов, как угол наклона волокон в заготовке (вид распила), тип и жесткость щеток, скорость вращения инструмента и скорость подачи [10].

Третьим этапом обработки является прессование. Обработка деревянных заготовок давлением направлена на устранение недостатков рельефной поверхности и дополнительное упрочнение заготовок. Ключевыми факторами, определяющими результат обработки, являются:

1) исходные параметры заготовок (порода, влажность, вид распила и кривизна годичных слоев, смолистость);

2) параметры процесса (температура обработки, скорость нагружения и усилие прессования, время выдержки под нагрузкой, наличие / отсутствие обжима) [3].

В результате одноосного прессования рельефная заготовка уплотняется неравномерно. Неравномерность уплотнения по толщине обусловлена не только снижением передающего давления [3], но и разнотолщинностью рельефной заготовки (6–10 %) в соответствии с природной структурой древесины. Элементы древесины поздней зоны годичного слоя, особенно зоны пиролиза, в процессе прессования изменяются слабо. Наиболее сильно деформируются клетки ранней зоны годичного слоя, располагающиеся под «гребнем» (зона 1а рис. 3). Наименее уплотненная зона располагается

непосредственно под впадиной (зона 1б рис. 3). Различие средней степени уплотнения этих зон составляет 7–10 %. На глубине заготовки более 2–2,5 мм данная неравномерность сглаживается (зона 2 рис. 3), и структуру древесины можно условно считать уплотненной равномерно. Таким образом, условная глубина модифицированного слоя после прессования составляет не более 2,5 мм.

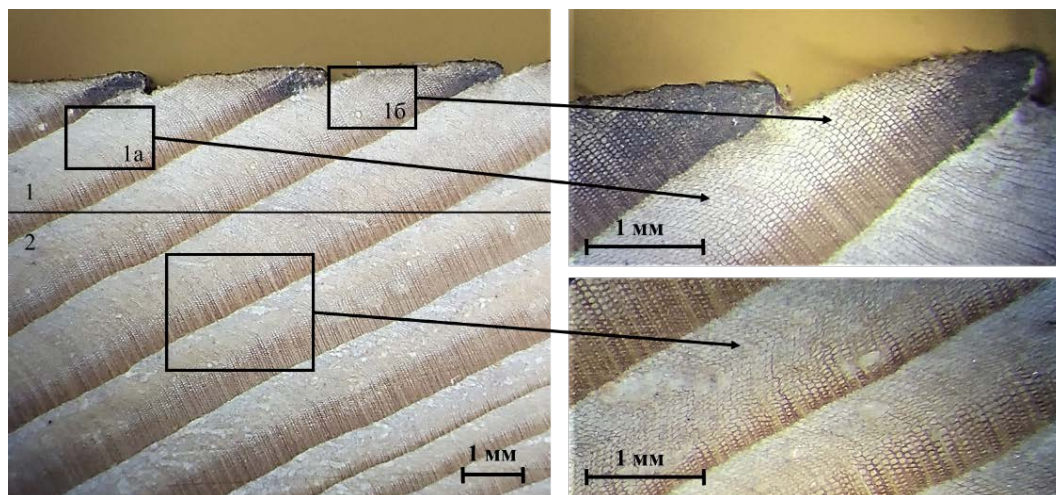


Рис. 3. Структура поверхности после прессования:
1 – неравномерно уплотненная зона; 1а – наиболее уплотненная зона;
1б – наименее уплотненная зона; 2 – равномерно уплотненная зона

Несмотря на увеличение глубины модифицированного слоя и снижение шероховатости поверхности до R_{max} 250–300 мкм в результате прессования, зона впадин остается по-прежнему незащищенной, что ставит необходимость дополнительной обработки. С этой целью введен заключительный этап – термическая обработка. Термообработка направлена в данном случае на повышение формостабильности прессованных заготовок из древесины, снижение пористости материала, разрушение питательной для микроорганизмов среды.

Процесс термообработки протекает в три этапа: 1) прогрев и сушка; 2) термообработка; 3) охлаждение. В результате воздействия температуры на первом этапе (50–100 °С) из древесины испаряется влага и экстрактивные вещества – терпены, воски, фенол, жиры. Они не являются структурообразующими и удаляются очень легко. Далее под действием более высоких температур (более 150 °С) разлагается гемицеллюлоза на более мелкие по размеру молекулы, удаляются растворимые сахара и глюкоза. В результате чего исчезает питательная среда для грибков и бактерий, снижается уровень внутренних напряжений материала и его способность к водопоглощению. Подобно гемицеллюлозе лигнин преобразуется в реактивные молекулы другого типа. Структура целлюлозы при этом сохраняется неизменной. Полимеры, составляющие стенки древесных клеток, при высокой температуре расплавляются, стенки сосудов частично свариваются, и древесина теряет присущую ей пористость, что почти полностью исключает в дальнейшем проникновение в нее атмосферной влаги [11].

Данные, полученные с помощью микроскопа МБС-10 (увеличение до $\times 98$), не позволили установить изменения структуры древесины в результате термической обработки. Визуально лишь можно отметить изменение цвета заготовок. Тем не менее эффективность термической обработки подтверждена экспериментально [12].

Управление процессом термообработки осуществляется путем регулирования продолжительности обработки и свойств обрабатывающего агента (температуры,

влажности). Выбор параметров режима термообработки проводят с учетом параметров обрабатываемых заготовок и объема загрузки камеры.

Таким образом, в результате исследования механизма формирования модифицированного поверхностного слоя заготовок из древесины установлены общие закономерности изменения структуры древесины на каждом этапе обработки. Конфигурация модифицированного слоя заготовок в большей степени соответствует форме поздней зоны годовых слоев, выходящей на лицевую пласт, в связи с чем заготовки тангенциального распила являются наиболее предпочтительными для обработки. Условно определены границы модифицированного слоя. Глубина модифицированного слоя составляет не более 2,5 мм, что соответствует глубине зоны неравномерного уплотнения. Происходящие в результате комбинированной обработки структурные изменения способствуют повышению физико-механических и защитных свойств древесины, расширяя возможные сферы ее использования. Качественный результат комбинированной обработки зависит от целого ряда факторов, и выбор оптимальных параметров режимов обработки – отдельная задача, при решении которой необходимо учитывать взаимовлияние этапов обработки друг на друга.

Библиографический список

1. Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 36. – №. 2-2. – С. 81–94.
2. Аксенов А. А., Малюков С. В. Способы модифицирования древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 9-3. – С. 14–18.
3. Хухрянский П. Н. Прессование древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 348 с.
4. Губанова Н. В. Исследование механизма пропитки древесины жидкостью // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. – 2012. – С. 109–111.
5. Термомодификация древесных материалов / Д. Ф. Зиятдинова, Д. А. Ахметова, А. Л. Тимербаева, А. Р. Хабибуллина // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2014. – Т. 17. – №. 8. – С. 94–96.
6. Тарбеева Н. А., Рублева О. А. Обоснование технологических возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотоварной древесины // Лесотехн. жур. – 2020. – Т. 10. – № 3 (39). – С. 145–154.
7. Гришин А. М., Якимов А. С. Математическое моделирование процесса зажигания древесины // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т. 20. – № 4. – С. 473–486.
8. Орлова С. С., Панкова Т. А., Затицацкий С. В. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре : учеб. пособие. – Саратов : Саратовский источник, 2015. – 130 с.
9. Козельский Н. Термодревесина – надежный друг человека // ЛесПромИнформ. – 2010. – № 1 (67). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1199> (дата обращения : 07.06.2021).
10. Сергеева В. В. Взаимовлияние эстетических свойств фактуры изделий из древесины и технологических аспектов их обработки : автореф. дис. ... канд техн. наук: 17.00.06 / Сергеева Вера Владимировна. – М., 2008. – 23 с.
11. Разумов Е. Ю., Данилова Р. В. Способ обработки термомодифицированной древесины // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 74–78.
12. Экспериментальное исследование комбинированного процесса изготовления облицовочных изделий на основе пьезотермической обработки деревянных заготовок / Н. А. Тарбеева, О. А. Рублева, А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина // Системы. Методы. Технологии. – 2021. – № 1. – С. 90–97.

ПРОГРЕССИВНОЕ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ

PROGRESSIVE WOODWORKING EQUIPMENT AND TOOLS

УДК 621.914:674:004

**В. В. Раповец¹, В. Г. Новоселов², А. А. Гришкевич¹,
С. В. Медведев³, Б. М. Розин³**

**(V. V. Rapovets¹, V. G. Novoselov², A. A. Grishkevich¹
S. V. Medvedev³, B. M. Rozin³)**

(¹БГТУ, г. Минск, РБ) dosy@bstu.unibel.by

(²УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) stanki-in@yandex.ru

(³ОИПИ, г. Минск, РБ) medv@newman.bas-net.by

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОБАСТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

MATHEMATICAL MODEL OF ROBUST OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF HIGH-SPEED BLADE PROCESSING OF WOOD MATERIALS ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL DATA

Данная статья посвящена возможности учета неопределенностей в моделях оптимизации. В реальных задачах оптимизации данные обычно неточны, в результате точно неизвестно, когда решение найдено. При традиционном подходе доли процентов неопределенности данных просто игнорируются, и проблема решается так, как если бы номинальные данные были идентичны фактическим данным. Однако эксперименты показывают, что уже довольно небольшие возмущения неопределенных данных могут привести к тому, что номинальное (т.е. соответствующее номинальным данным) оптимальное решение в значительной степени неосуществимо и, следовательно, практически бессмысленно. Например, в 13 из 90 задач линейного программирования из библиотеки NETLIB 0,01 % случайных возмущений неопределенных данных приводят к более чем 50 % нарушениям правых частей некоторых ограничений, оцениваемых при номинальных оптимальных решениях. Таким образом, в приложениях существует реальная потребность в методологии, которая дает робастные (т.е. надежные) решения, обладающие защитой против неопределенности исходных данных.

This article is devoted to the possibility of accounting for uncertainties in optimization models. Since data is usually inaccurate in real-world optimization problems, as a result, it is not known exactly when the solution was found. In the traditional approach, fractions of a percentage of data uncertainty are simply ignored and the problem is solved as if the nominal data were identical to the actual data. However, experiments show that even rather small perturbations of uncertain data can lead to the fact that the nominal (i.e., corresponding to nominal data) optimal solution is largely unrealizable and, therefore, practically meaningless. For example, in 13 out of 90 linear programming problems from the NETLIB library, 0.01 % of random perturbations of undefined data lead to more than 50 % violations of the right-hand sides of some constraints estimated for nominal optimal solutions. Thus, in applications, there is a real need for a methodology that provides robust (i.e. reliable) solutions that are defense against uncertainty in the underlying data.

Традиционная методология этого типа предлагается стохастическим программированием, при котором возмущениям данных в заданной области назначается распределение вероятностей и исходные ограничения заменяются их «случайными версиями», налагающими на возможное решение требование удовлетворять ограничениям с вероятностью $\geq 1-\varepsilon$, где $\varepsilon \ll 1$ является заданным допуском [1]. Однако во многих случаях, даже если известна область возможных значений, нет естественного способа присвоить возмущениям данных распределение вероятностей; кроме того, вероятностное стохастическое программирование обычно трудноразрешимо с вычислительной точки зрения.

Робастную оптимизацию можно рассматривать как дополнение к подходу стохастического программирования к решению проблем оптимизации с неопределенными данными. Как правило, в робастных моделях предполагается, что неопределенность исходных данных описывается известной ограниченной областью значений. При этом на возможное решение налагается требование быть *робастно допустимым*, т.е. удовлетворять ограничениям независимо от реализации данных из этой области. Предполагается, что целевая функция определена точно (т.е. на нее не влияют возмущения данных, фактически это предположение не ограничивает общности постановки задачи), затем ищется робастное оптимальное решение – робастное допустимое решение с наименьшим значением целевой функции. При таком подходе с исходной неопределенной задачей ассоциируется ее робастный аналог – задача построения робастного оптимального решения. Впервые подход робастной оптимизации был сформулирован в работе Сойстера [2] и в дальнейшем развит в работах Бен-Тала и А. Немировского [1, 3–6] и других авторов.

Однако для ряда практических задач, в частности оптимизации процессов обработки новых древесных материалов новыми типами режущих инструментов, отсутствует наработанная экспериментальная база, позволяющая достоверно оценить не только номинальные значения, но и границы диапазонов возможных значений исследуемых характеристик технологического процесса для различных значений его параметров. В результате возникает проблема повышения надежности (робастности) принимаемых проектных решений при использовании имеющихся неточных экспериментальных данных о зависимости характеристик процесса (усилия, мощности резания, степени износа инструмента) от параметров режимов (скорости резания, толщины снимаемой стружки) и времени обработки с учетом ограничений на значения этих характеристик, вытекающих из требований к качеству обработки.

Предлагаемый для таких ситуаций робастный подход основан на предположениях: а) экспериментальные значения характеристик процесса определяются с погрешностями, б) границы области неопределенности характеристик не определены. Подход заключается в учете типа ограничения (\leq либо \geq) на характеристику и, исходя из этого типа, соотнесения экспериментальному значению сравнительной степени риска нарушения ограничения в зависимости от его величины (для ограничения \leq более вероятным является большее значение характеристики). Последнее основано на свойстве, что риск превышения значения характеристики (для близких по аргументам экспериментальных точек) уменьшается с ростом ее значения. Практически для ограничений типа \leq экспериментальные значения характеристики в левой части неравенства, которые не принадлежат вогнутой оболочке экспериментальных характеристик (для 2-мерного случая – вогнутой поверхности), отбрасываются либо корректируются в сторону увеличения так, чтобы они ей принадлежали.

Построение такой выпуклой оболочки для описания зависимости характеристики от параметров режимов позволяет интерполировать вероятные максимальные

значения исследуемой характеристики для промежуточных (экспериментально не исследованных) значений параметров режимов. Аналогично для ограничения типа \geq строится выпуклая оболочка (вогнутая вниз гиперповерхность).

Для сформулированной ранее (см. отчет за 2018 г.) модели оптимизации технологических процессов деревообработки резанием предложена ее робастная модификация, в которой одна из основных характеристик (мощность резания) рассматривается как неточно определяемая по результатам экспериментов вследствие воздействия на нее неопределенных факторов. Причем в связи с большим разнообразием свойств обрабатываемых материалов и недостаточным количеством проведенных экспериментов отсутствуют характеристики области неопределенности исследуемой характеристики для используемых значений параметров технологического процесса.

Целью такого моделирования является повышение устойчивости оптимальных (по выбранным критериям) параметров технологического процесса по отношению к неопределенности исследуемой характеристики. Рассмотрен подход к модификации экспериментальных данных исследуемой характеристики, основанный на построении ее вогнутой оболочки по результатам экспериментов с учетом типа ограничений на ее значения в задаче оптимизации. Разработан алгоритм построения указанной вогнутой оболочки по результатам экспериментов, который программно реализован для случая зависимости функции мощности от двух переменных параметров режимов (толщины снимаемой стружки и скорости резания). Проведены тестовые расчеты на базе 135 натурных экспериментов для различных сочетаний параметров припуска при фрезеровании и угла между обрабатываемой поверхностью и задней кромкой фрезы, когда управляемые параметры процесса изменяются в заданных диапазонах.

Рассматривается задача определения наилучших режимов высокоскоростной одноинструментальной обработки деталей из древесных материалов в условиях серийного производства на примере фрезерования. Критериями качества рекомендуемых режимов является принимаемый набор основных (зависящих от искомых режимов обработки) технико-экономических показателей технологического процесса. Этот набор может включать, в частности, такие показатели, как производительность, себестоимость, энергоемкость и др. Искомые режимы обработки должны удовлетворять ряду ограничений, учитывающих, в частности, следующие организационно-технические, технологические и экономические факторы:

- заданные диапазоны возможных режимов обработки;
- требуемое качество обрабатываемой поверхности;
- предельно допустимые для используемого оборудования усилия резания, угловые скорости, крутящий момент и мощность на шпинделе;
- заданный набор предпочтительных интервалов календарного времени работы оборудования между сменами инструмента.

При принятых предположениях и допущениях сформулированная выше задача определения наилучших режимов одноинструментальной обработки деталей из древесных материалов в условиях серийного производства при фиксированных h, α сводится к следующей задаче многокритериальной оптимизации:

$$\{ \Phi(a, V), \tilde{C}_o(a, V), \tilde{E}(a, V) \} \rightarrow \text{opt}, \quad (1)$$

$$\underline{a} \leq a \leq \bar{a}, \quad (2)$$

$$\underline{V} \leq V \leq \bar{V}, \quad (3)$$

$$\underline{n} \leq n \leq \bar{n}, \quad (4)$$

$$F(a, V, t) \leq \bar{F}, \quad t \in [0, t(a, V, \tau_0)], \quad (5)$$

$$M(a, V, t) \leq \bar{M}, \quad t \in [0, t(a, V, \tau_0)], \quad (6)$$

$$k_1 P(a, V, t) \leq \bar{P}, \quad t \in [0, t(a, V, \tau_0)], \quad (7)$$

$$\rho(a, V, t(a, V, \tau_0)) \leq \bar{\rho}(a, V), \quad \tau_0 \in U, \quad (8)$$

где
$$t(a, V, \tau_0) = \frac{l_p(\tau_0 K - \tau_{cm})}{l_x + S(a, V)\tau_g}.$$

В качестве основной характеристики, подверженной воздействию неопределенных факторов, рассмотрена потребляемая при обработке мощность $P = P(a, V, \rho)$. При этом предполагается, что для исследуемого процесса фрезерования древесного материала не проводилось предварительных экспериментальных исследований для оценки номинальных значений мощности и возможных отклонений от этих значений для входных параметров процесса. На основании исследований аналогичных процессов предполагается, что номинальная мощность при непрерывном изменении входных параметров процесса изменяется непрерывно и обладает свойствами гладкости.

Таким образом, сформулирована задача многокритериальной оптимизации параметров процесса высокоскоростной деревообработки для частного случая одноинструментального фрезерования деталей при крупносерийном их выпуске. Для аппроксимации характеристик процесса на базе неточных экспериментальных данных набором степенных функций предполагается построение вогнутых (выпуклых) оболочек экспериментальных точек на множестве варьирования параметров процесса. Ограничения многокритериальной задачи (1)–(8) для оптимизации режимов деревообработки вычисляются на базе модифицированных экспериментальных данных. Для аппроксимации физических характеристик процесса резания и износа инструмента используются наборы степенных функций. С учетом свойств характеристик их аппроксимация строится по методу наименьших квадратов.

Для решения сформулированной задачи с учетом невыпуклости в общем случае области допустимых значений параметров режимов используется эвристический метод роя частиц, хорошо зарекомендовавший себя при решении ряда задач, аналогичных исследуемой в работе.

Приведем алгоритм построения вогнутой оболочки многогранным множеством на двумерной сетке экспериментальной характеристики $F(x, y)$, входящей в ограничение в модели задачи

$$F(x, y) \leq \bar{F}.$$

Предполагается, что формируемая аппроксимация является непрерывной и вогнутой функцией по каждой из своих переменных x, y функцией. При этом никаких предположений на характер исходной экспериментальной зависимости не накладывается.

Приведенный ниже алгоритм строит по экспериментальным значениям $F(x_i, y_k)$ функции $F(\cdot, \cdot)$ функцию $\tilde{F}(x_i, y_k)$ для всех $i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m$ такую, что она является вогнутой по x_i при любом фиксированном $y_k, k = 1, \dots, m$ и вогнутой по y_k при любом фиксированном $x_i, i = 1, \dots, n$.

Алгоритм заключается в итеративной по координатной коррективке значений аппроксимируемой функции.

Сравнительный анализ результатов решения исходной оптимизационной задачи и робастного решения

Для исходной постановки задачи

Найденные оптимальные параметры:

Время между сменами инструмента = 480 (мин).

Угол между задней кромкой резца и поверхностью обработки = 20°.

Толщина срезаемого слоя = 1 мм.

Толщина стружки = 0,299 мм.

Скорость резания = 25,228 м/с.

Энергопотребление = 0,6128 кВт·ч/см.

Для робастной постановки задачи.

Найденные оптимальные параметры:

Время между сменами инструмента = 480 (мин).

Угол между задней кромкой резца и поверхностью обработки = 20°.

Толщина срезаемого слоя = 1 мм.

Толщина стружки = 0,299 мм.

Скорость резания = 25,228 м/с.

Энергопотребление = 0,6239 кВт·ч/см.

Вывод: для того же режима фрезерования энергопотребление возросло на 1,8 %.

Для разработанной ранее модели многокритериальной оптимизации параметров режимов технологических процессов деревообработки [7] предложен метод повышения надежности решения, основанный на построении вогнутой (либо выпуклой) оболочки экспериментально получаемых характеристик процесса.

Проведены тестовые расчеты на основе полученных экспериментальных данных по проведенным 135 натурным экспериментам процесса фрезерования заготовок.

Полученные результаты показали, что наилучшими режимами как для исходных, так и для модифицированных характеристик, обеспечивающими минимальную удельную себестоимость обработки в заданных диапазонах управляемых параметров (толщины стружки и скорости резания), являются режимы, обеспечивающие максимальную производительность (с наибольшей минутной подачей). Энергоемкость при этом незначительно возрастает.

Решения робастной и исходной постановок задач по единственному критерию максимальной производительности либо минимальной себестоимости совпадают. Решение же однокритериальной задачи по критерию энергопотребления для робастной постановки оказалось хуже по целевой функции на 1,8 %.

Библиографический список

1. Ben-Tal A., Nemirovski A. Robust Convex Optimization // Math. of Oper. Res. 23:4 (1998), 769–805.
2. Soyster A. L. Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming // Oper. Res. (1973), 1154–1157.
3. Ben-Tal A., Nemirovski A. Robust solutions of uncertain linear programs // OR Letters 25 (1999), 1–13.
4. Ben-Tal A., Nemirovski A. Robust solutions of Linear Programming problems contaminated with uncertain data // Math. Progr. 88 (2000), 411–424.
5. Ben-Tal A., Nemirovski A. Robust Optimization – methodology and applications // Math. Progr. Series B 92 (2002), 453–480.
6. Ben-Tal A., Nemirovski A. On tractable approximations of uncertain linear matrix inequalities affected by interval uncertainty // SIAM J. on Optimization 12 (2002), 811–833.

7. Раповец В. В. Вычислительные эксперименты высокоскоростной лезвийной обработки древесины // Тр. БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2 (198). – С. 360–364.

УДК 674.914:674.338

С. А. Гриневич¹, В. Г. Новоселов², А. А. Гришкевич¹
(S. A. Grinevich¹, V. G. Novoselov², A. A. Grishkevich¹)

¹(БГТУ, г. Минск, РБ) dosy@belstu.by

²(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) stanki-in@yandex.ru

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ЗАВЕС ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ УПОРОВ В КРУГЛОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ

WAYS TO INCREASE THE RIGIDITY OF CURTAINS OF SAFETY STOPS IN CIRCULAR SAWING MACHINES

Наиболее травмоопасным деревообрабатывающим оборудованием являются круглопильные станки для продольной распиловки. Для предотвращения обратного выброса заготовки в данных станках применяются когтевые завесы.

В работе приведены и проанализированы требования, предъявляемые к осям когтевых завес. На основании полученных данных определена жесткость конструкции, предложены варианты ее увеличения.

The most traumatic woodworking equipment is circular sawing machines for longitudinal sawing. To prevent the reverse ejection of the workpiece claw curtains are used in these machines.

The paper presents and analyzes the requirements for axes of claw curtains. On the basis of the obtained data the rigidity of the structure is determined, options for it increasing are proposed.

Деревообрабатывающее оборудование имеет повышенную травмоопасность, поэтому при его эксплуатации обеспечение безопасности оператора является одной из важнейших задач. Решение данной задачи обеспечивается путем разработки и соблюдения специальных мер безопасности, обучением персонала безопасным приемам работы и проектированием специальных устройств, исключающих или снижающих вероятность возникновения опасных производственных факторов. Наиболее часто встречающимися причинами несчастных случаев на деревообрабатывающем оборудовании являются соприкосновение оператора с подвижными частями оборудования, в том числе и с режущим инструментом, а также обратный выброс режущим инструментом заготовки или ее фрагмента.

К наиболее травмоопасному оборудованию относятся круглопильные станки для продольной распиловки древесины. Данный тип оборудования характеризуется высокими скоростями резания и встречной подачей, что предопределяет высокую вероятность обратного выброса заготовки. Для защиты оператора и предотвращения вылета заготовки или его фрагментов из станка конструкцией оборудования предусматривается применение завес из подвижных предохранительных упоров (когтевых завес).

Основные требования к конструкции когтевых завес приведены в ГОСТ 12.2.026.0-2015 «Станки деревообрабатывающие. Требования безопасности к конструкции» [1].

При анализе конструкций завес из противовыбрасывающих упоров на круглопильных станках, на которых имели место несчастные случаи, связанные с обратным выбросом обрабатываемых заготовок, была выявлена деформация осей когтевых завес, а также деформация осей устройств, предотвращающих проворот предохранительных упоров в сторону противоположную направлению подачи. Очевидно, что сила удара выброшенного пилой фрагмента древесины была настолько велика, что произошла деформация вышеуказанных элементов. С одной стороны, это подтверждает высокую скорость выброса элементов обрабатываемого материала [2], а с другой – говорит о недоработках в конструкции механизма противовыбрасывающих упоров. Сам ГОСТ 12.2.026-2015 требований к прочности и жесткости конструкции когтевых завес не предъявляет.

Некоторые требования к осям когтевых завес приводятся в СТБ ЕН 1870-4-2006 «Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой» [3]. Данный нормативный документ входит в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» [4]. Согласно ему, оси завес из подвижных предохранительных упоров должны изготавливаться из стали с минимальным пределом прочности на растяжение $\sigma_p = 570 \text{ Н/мм}^2$.

В явном виде требований к жесткости конструкции также не предъявляется, но приводится графическая зависимость для определения минимального диаметра осей когтевых завес (рис. 1).

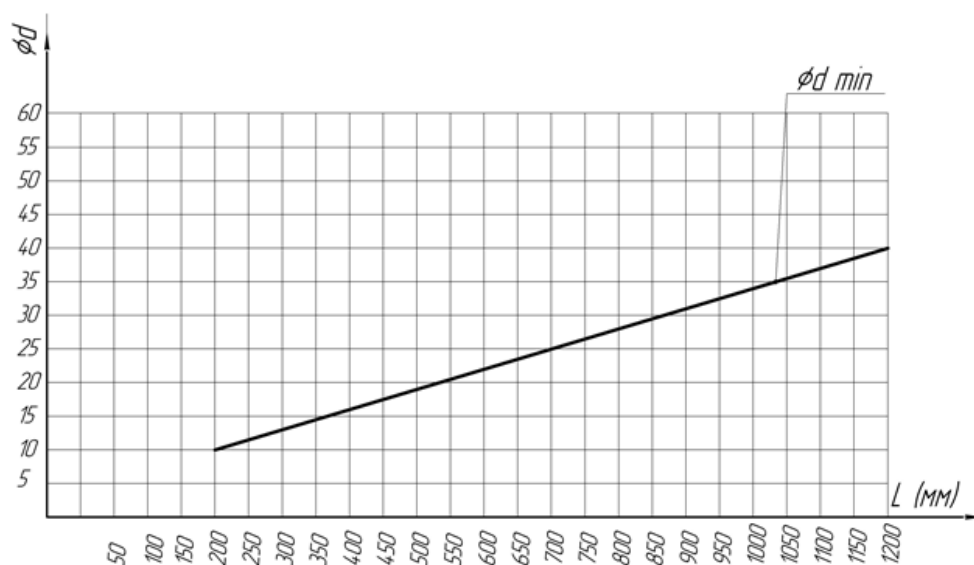


Рис. 1. Зависимость диаметра оси от расстояния между опорами

Определим жесткость исходя из данного графика. Для этого воспользуемся приведенной в СТБ ЕН 1870-4-2006 схемой (рис. 2).

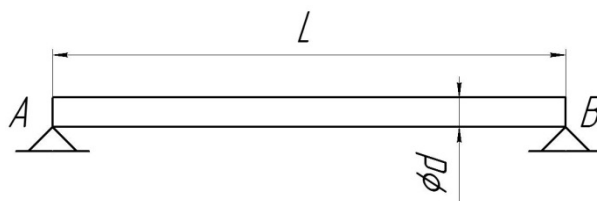


Рис. 2. Схема к определению минимального диаметра оси когтевой завесы

Расчет произведем исходя из самого неблагоприятного случая – сработал только один коготь в середине завесы, т.е. нагрузку считаем сосредоточенной силой F , приложенной в середине балки на двух шарнирных опорах. Вес самих предохранительных упоров не учитываем, так как ряд их геометрических параметров не нормирован и зависит от конструкции станка.

В этом случае прогиб оси может быть определен как [5]:

$$y = \frac{FL^3}{48EJ}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга, Н/м²; J – момент инерции сечения, м⁴.

Для круглого сечения J , м⁴, найдем по формуле

$$J = \frac{\pi d^4}{64}. \quad (2)$$

С учетом (2) перепишем (1):

$$y = \frac{64FL^3}{48E\pi d^4}. \quad (3)$$

Жесткость определяется как

$$c = \frac{F}{y}. \quad (4)$$

Выразим ее из формулы (3)

$$c = \frac{48E\pi}{64} \frac{d^4}{L^3}. \quad (5)$$

Из полученной формулы очевидно, что зависимость $d = f(L)$ не является линейной, а представленный на рис. 1 график, вероятно, является ее аппроксимацией. Подстановка значений из графика в выражение (5) при $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па дает переменное значение жесткости от $c_{\min} = 482,3$ Н/мм при $L = 400$ мм и $d = 16$ мм до $c_{\max} = 697,8$ Н/мм при $L = 1200$ мм и $d = 40$ мм.

Очевидными вариантами повышения жесткости когтевой завесы, согласно выражению (5), являются увеличение диаметра оси d и сокращение L до минимально возможного значения, допускаемого конструкцией станка.

Другим вариантом повышения жесткости является изменение способа крепления осей когтевых завес, в частности замена одной (рис. 3, а) или обеих (рис. 3, б) опор жесткими заделками.

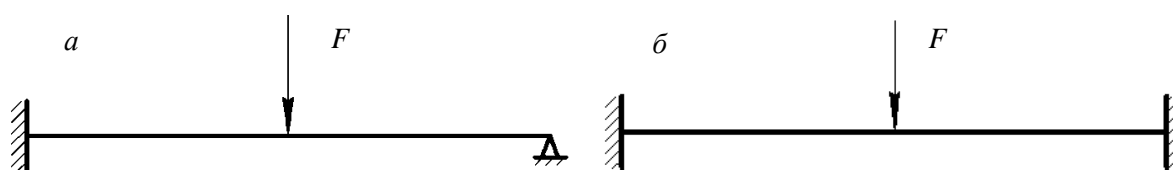


Рис. 3. Схемы крепления осей, обеспечивающие повышение жесткости:
а – с жесткой заделкой с одной стороны; б – с жесткой заделкой с двух сторон

Технически опора оси, приводимая к жесткой заделке, может быть реализована разными способами. Один из вариантов предложен на рис. 4.

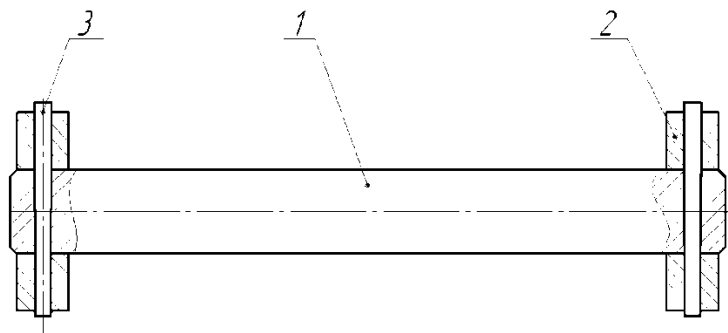


Рис. 4. Схема с жесткой фиксацией оси:
1 – ось; 2 – опора; 3 – штифт

Ось 1 с натягом установлена в опоры 2 и зафиксирована штифтами 3. Прогиб оси по схеме рис. 3, а может быть найден как [5]

$$y = \frac{7FL^3}{768EJ}. \quad (6)$$

Величина y в данном случае приблизительно в 2,3 раза меньше, чем найденная по формуле (1).

Прогиб оси по схеме рис. 3, б может быть найден как [5]

$$y = \frac{FL^3}{192EJ}. \quad (7)$$

Величина y в этом случае в 4 раза меньше, чем найденная по формуле (1), и в 1,75 раза меньше, чем по формуле (6).

Заключение. Существующие рекомендации, приведенные в ТНПА, не совершенны, так как не учитывают многих факторов, влияющих на эффективность работы завес предохранительных упоров. Из приведенного материала очевидно, что необходимы дополнительные экспериментальные и теоретические исследования, направленные на определение нагрузок и условий срабатывания когтевых завес, а также совершенствование конструкций последних в направлении увеличения их жесткости.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.2.026.0-2015. Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции. – Введ. 2017-01-01. – М. : Стандартиформ, 2016. – 34 с.
2. Вихренко В. С., Гриневич С. А. Новые технологии высшей школы // Наука, техника, педагогика : матер. Всерос. науч.-практ. конф. – М., 2021. – С. 136–139.
3. СТБ ЕН 1870-4-2006. Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой. – Введ. 2017-01-01. – Минск : Гос. комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2006. – 36 с.
4. О безопасности машин и оборудования: ТР ТС 010/2011: принят 18.10.2011 : вступ. в силу 15.02.2013 / Евраз. экон. комис. – 36 с. – URL: <http://www.docs.cntd.ru>
5. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

УДК 674.05:621.923.6

А. А. Гришкевич¹, Д. Л. Болочко¹, В. Г. Новоселов²
 (A. A. Grishkevich¹, D. L. Bolochko¹, V. G. Novoselov²)
 (¹БГТУ, г. Минск, РБ) dosy@bstu.unibel.by
 (²УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) stanki-in@yandex.ru

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗНОСУ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛЕЗВИЯ САМОЗАТАЧИВАЕМОГО ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА

ANALYSIS OF THE RESULTS OF PRELIMINARY STUDIES ON WEAR OF THE SURFACES OF THE SELF-GROUNDING BLADE MILLING TOOL

Одним из путей повышения производительности деревообрабатывающего оборудования является увеличение периода стойкости инструмента, который определяется радиусом округления режущей кромки. Поэтому сохранить неизменным установленный радиус округления является задачей актуальной и своевременной. Особенно это касается высокопроизводительных линий машин, где продолжительность замены инструмента очень сильно сказывается на себестоимости производимой продукции.

Достичь неизменности установленного радиуса округления режущей кромки лезвия возможно при использовании в инструменте так называемого эффекта самозатачивания. При этом механизмы реализации этого эффекта могут быть разными.

В настоящей работе представлены результаты исследований по изучению механизма самозатачивания лезвий с целью создания в дальнейшем дереворежущих инструментов, работающих по этому принципу.

One of the ways to increase the productivity of woodworking equipment is to increase the tool life, which is determined by the radius of the cutting edge rounding. Therefore, keeping the set rounding radius unchanged is a topical and timely task. This is especially true for high-performance machine lines, where the duration of tool replacement has a very strong effect on the cost of production.

It is possible to achieve the invariability of the set radius of rounding of the cutting edge of the blade when using the so-called self-sharpening effect in the tool. In this case, the mechanisms for the implementation of this effect may be different.

This work presents the results of studies on the study of the mechanism of self-sharpening of blades in order to create in the future wood-cutting tools operating on this principle.

В современных условиях совершенствование инструмента происходит в тесной взаимосвязи с развитием станкостроения и технологического процесса. Выбор инструмента делается с учетом технологического процесса обработки детали и станка, на котором выполняется конкретная технологическая операция. Хороший режущий инструмент обеспечивает высокую производительность труда при требуемом качестве обработки деталей. Роль режущего инструмента в современном производстве настолько велика, что у производителей ходит в обращении пресловутая фраза: «Все дивиденды предприятий сидят на острие режущего инструмента» [1].

Лезвие режущего инструмента при срезании припуска с обрабатываемой заготовки под действием сил трения подвергается износу. Затупление лезвий характеризуется изменением их микрогеометрии в процессе резания. Критерий затупления характеризуется максимально допустимым значением износа режущего инструмента, после достижения которого наступает его отказ, т.е. неработоспособное состояние. Продолжение

резания таким лезвием приведет к недопустимому нарушению установленных показателей обработки древесины.

Целью настоящего исследования является изучение эффекта самозатачивания многослойного лезвия, обеспечивающего постоянство радиуса округления режущей кромки, при обработке древесины насадным фрезерным инструментом.

Для успешной работы дереворежущего инструмента необходимо, чтобы он обладал определенным комплексом свойств, соответствующих условиям его работы [2].

Фрезерный инструмент имеет многочисленные конструктивные формы и является основным режущим инструментом фрезерных станков [3].

В настоящее время существует множество производителей фрезерного дереворежущего инструмента, среди которых наиболее крупными являются Leuco, Leitz, Иберус-Киев и др.

При проектировании вращающихся инструментов должно быть уделено серьезное внимание условиям безопасности применения инструментам, таким как прочное крепление вставных ножей, проверка прочности пайки, обтекаемая форма инструмента, балансировка, соответствующее качество материалов для изготовления инструмента [4].

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов совместно с учеными УГЛТУ спроектирована и изготовлена экспериментальная фреза с самозатачивающимися ножами (рис. 1).

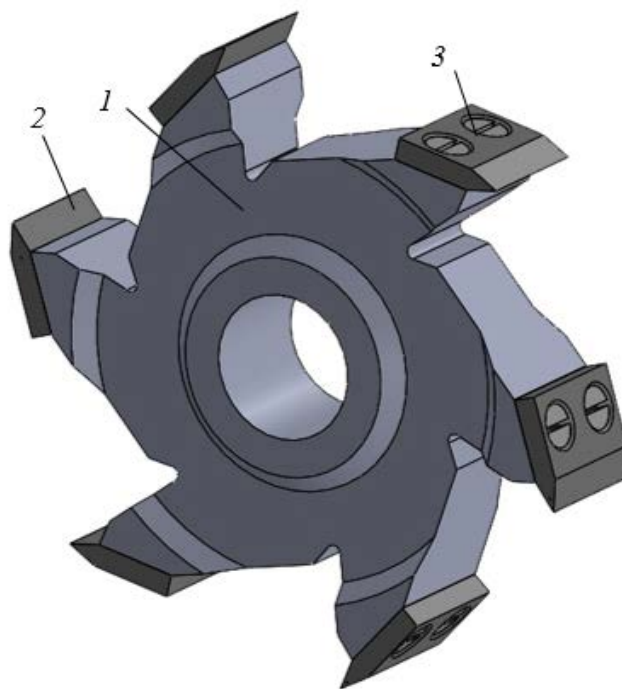


Рис. 1. Фреза с самозатачивающимися ножами:
1 – корпус инструмента; 2 – самозатачивающийся нож; 3 – винт

Фреза насадная сборная состоит из цельного корпуса 1 и сменных ножей 2, закрепленных на корпусе при помощи винтов 3. Корпус изготавливается из одного куска металла, имеет отверстие для установки инструмента на шпиндельные насадки. Конструкция фрезы соответствует требованиям, описанным в [5, 6].

Ранее в работе [7] было представлено самозатачивающееся лезвие, выполненное с выемкой в форме канавки на режущей кромке, выполненной по биссектрисе угла лезвия по всей длине и заполненной материалом из нитрида, карбида или карбонитрида, тугоплавкого металла (рис. 2).

Такая конструкция ножа позволяет образовывать режущую кромку, которая обладает эффектом самозатачивания. В процессе работы поверхностные слои ножа изнашиваются быстрее, чем более износостойкий тугоплавкий материал выемки режущей кромки [8].

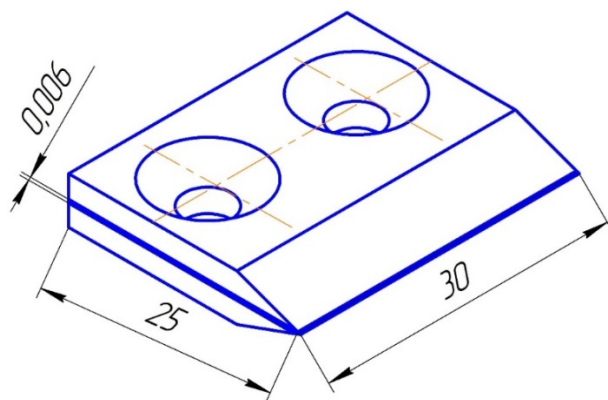


Рис. 2. Самозатачивающийся нож

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов создана экспериментальная установка на базе четырехстороннего продольно-фрезерного станка Unimat 23EL, конструкция которого включает станину, на которой смонтированы шесть шпинделей, подающая траверса, механизмы привода и настройки [9, 10].

На рис. 3 представлена фотография машины и узлов Unimat 23EL с экспериментальным инструментом.

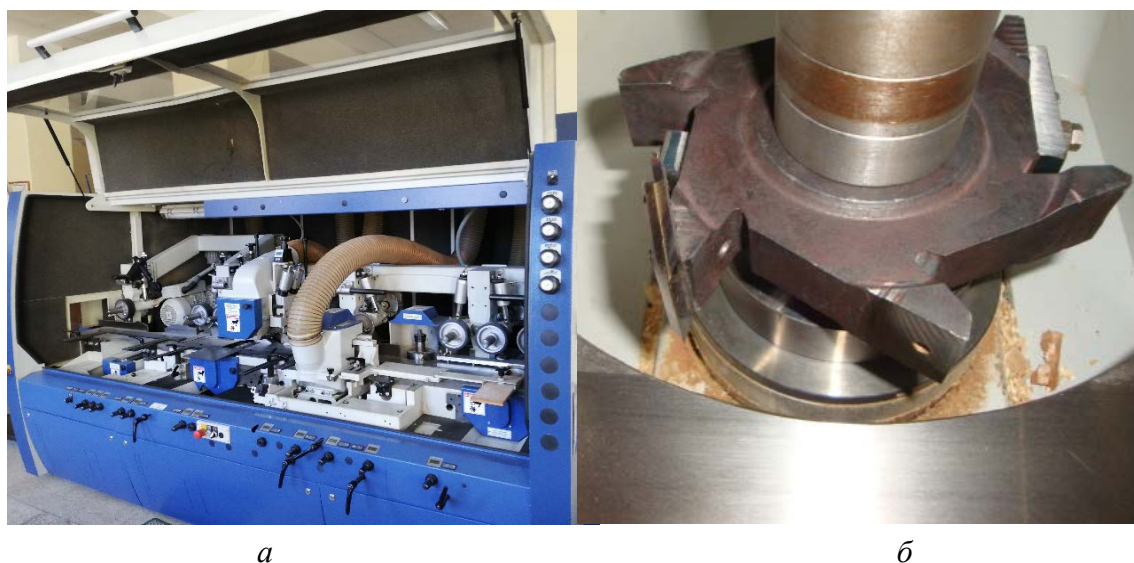


Рис. 3. Экспериментальная установка:
а – машина Unimat 23EL; б – экспериментальный инструмент

Фреза с самозатачивающимися ножами установлена на первый правый вертикальный шпиндель, настройка которого производится путем его перемещения по вертикали и горизонтали вручную при помощи рукоятки [11].

Методика эксперимента – это совокупность приемов, позволяющих разумно поставить эксперимент, сообразуясь с целью исследования, со стремлением получить максимальную информацию при ограниченном числе опытов, а также правильно обработать и интерпретировать результаты эксперимента [12].

В нашем случае для постановки эксперимента определены режимы обработки (таблица) и выбран обрабатываемый материал породы сосны с длиной 1500 мм, шириной 90 мм и толщиной 25 мм.

Экспериментальные данные

Параметр	Значение
Частота вращения шпинделя, n , мин ⁻¹	3000
Количество лезвий, z , шт	1
Радиус окружности резания, R , мм	71,47
Снимаемый припуск, h , мм	3
Скорость подачи, V_s , м/мин	6

Пользуясь методиками и зависимостями, представленными в [13, 14, 15], определили суммарный путь контакта режущей кромки лезвия в материале, который составил 1736 м.п.

На рис. 4 представлена получаемая стружка при обработке заготовок самозатачивающимся лезвием.

В ходе проведения эксперимента при появлении стружки, как в процессе дробления (рис. 4, б), процесс был остановлен. Это говорит о том, что режущая кромка потеряла режущую способность.



Рис. 4. Получаемая стружка:
а – острым лезвием; б – лезвием, потерявшим режущую способность

На рис. 5 представлена микрогеометрия режущей кромки острого лезвия и потерявшего режущую способность.



Рис. 5. Микрогеометрия режущей кромки:
а – острое лезвие; б – лезвие, потерявшее режущую способность

Выводы. В работе предложено возможное техническое решение конструкции экспериментального многослойного лезвия.

Экспериментальные исследования показали, что в процессе работы поверхностные слои лезвия изнашиваются быстрее, чем более износостойкий тугоплавкий материал выемки режущей кромки. В конечном итоге, когда базовый материал лезвия стерся и не обеспечивал достаточную опору для всего материала выемки, микрочастицы выемки отрывались, после чего оставался более тонкий слой на кромке лезвия. Такой непрерывный износ будет поддерживать неизменность радиуса округления кромки лезвия.

В дальнейшем будут проводиться исследования по уточнению физико-механических свойств материала переходных слоев лезвия и их количества.

Библиографический список

1. Глебов И. Т. Дереворежущий инструмент. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2002. – 197 с.
2. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 344 с.
3. Зотов Г. А., Швырев Ф. А. Подготовка и эксплуатация дереворежущего инструмента. – М. : Лесн. пром-сть, 1986. 301 с.
4. Раповец В. В. Проектирование и производство деревообрабатывающего инструмента. – Минск : БГТУ, 2015. – 74 с.
5. ГОСТ 13932–80. Фрезы дереворежущие насадные цилиндрические сборные. Технические условия. – Введ. 1982-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
6. ГОСТ Р 52419–2005. Фрезы насадные, оснащенные твердым сплавом, для обработки древесных материалов и пластиков. Технические условия. – Введ. 2005-12-27. – М. : Стандартинформ, 2005. – 12 с.
7. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н., Болочко Д. Л. Увеличение периода стойкости ножей самозатачиванием их лезвий // Тр. БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 2 (222). – С. 294–297.
8. Пат. 20824, Респ. Беларусь. Самозатачивающееся лезвие / Гришкевич А. А., Чаевский В. В. ; заявл. 05.12.13 ; опубл. 28.11.16.
9. Оборудование для производства мебели. – URL: <http://stankowood.ru/catalog/offers/3513/> (дата обращения: 22.03.2021).
10. Гриневич С. А. Конструкции деревообрабатывающего оборудования. – Минск : БГТУ, 2016. – 76 с.
11. Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания : лаб. практикум. – Минск : БГТУ, 2014. – 88 с.
12. Горский В. Г. Планирование промышленных экспериментов. – М. : Metallurgia, 1974. – 264 с.
13. Гришкевич А. А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания. – Минск : БГТУ, 2012. – 109 с.
14. Бершадский А. Л. Резание древесины. – Минск : Выш. шк., 1975. – 303 с.
15. Глебов И. Т. Расчет режимов резания. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2005. – 155 с.

УДК 674.055:621.95

Т. А. Машорипова, А. Ф. Аникеенко
(Т. А. Mashoripova, A. F. Anikeenko)
(БГТУ, г. Минск, РБ) dosy@bstu.unibel.by

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ СВЕРЛИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА
НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СВЕРЛЕНИЯ
ЛАМИНИРОВАННЫХ ДСтП**

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TECHNICAL PARAMETERS
OF THE NEW DESIGN OF THE DRILLING TOOL
ON THE TECHNOLOGICAL MODES OF DRILLING LAMINATED DSTP**

В статье описывается новая конструкция сверлильного инструмента с применением упругих элементов для сверления сквозных отверстий в ламинированных древесностружечных плитах. Данная конструкция позволяет механическим путем изменять скорость подачи инструмента непосредственно во время обработки ламинированной древесностружечной плиты, тем самым предотвращая появление сколов на поверхности хрупкого слоя (ламината) плиты.

Конструкция предполагает применение пружин сжатия с разными коэффициентами жесткости. Во время внедрения сверла в твердую ламинированную часть плиты уменьшается скорость подачи за счет срабатывания пружины, на которую в это время прикладывается нагрузка.

The article describes a new design of a drilling tool with the use of elastic elements for drilling through holes in laminated chipboard. This design allows you to mechanically change the feed rate directly during the processing of laminated chipboard, thereby preventing the appearance of chips on the surface of the brittle layer (laminate) of the board.

The design involves the use of compression springs with different stiffness coefficients in the drilling tool. During the introduction of the drill into the solid laminated part of the plate, the feed rate decreases due to the actuation of the springs, which are loaded at this time.

Ламинированная древесностружечная плита является широко распространенным конструкционным материалом для производства мебели. Важными характеристиками инструмента, влияющими на качество обработки, силу и мощность резания, являются угол наклона винтовой канавки ε , угол подъема винтовой канавки τ , диаметр сверла D и угол при вершине 2φ [1–3].

При сверлении древесных материалов наиболее распространенной конфигурацией режущей части сверла являются коническая заточка и форма с подрезателями и направляющим центром. При этом во второй форме сверло имеет четыре режущих элемента: две главные режущие кромки и два подрезателя [4–6].

Существуют различные методики проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущего инструмента. Но большинство из них предполагает не более одного исследуемого варьируемого параметра, влияющего на интересующий нас показатель – качество обработанной поверхности [7–8].

В связи с вышесказанным был спроектирован сверлильный инструмент, конструкция которого предполагает применение пружин сжатия с разными коэффициентами жесткости. Во время внедрения сверла в твердую ламинированную часть плиты снижается скорость подачи за счет срабатывания пружин, на которые в это время подается нагрузка.

На основании рассмотренных конструкций сверлильный инструмент с применением упругих элементов является наиболее оптимальным вариантом. Это достигается за счет простоты конструкции и меньших габаритов.

На рис. 1 представлена расчетная схема пружин.

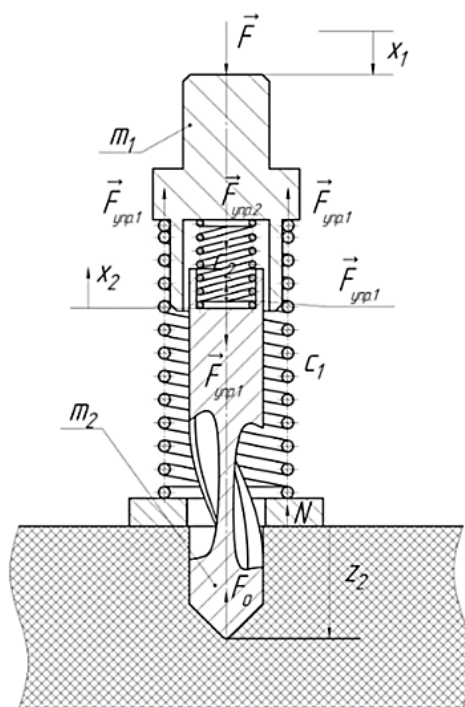


Рис. 1. Расчетная схема

Для решения составим следующие дифференциальные уравнения:

$$m_1 \ddot{x}_1 = F - c_1 x_2; \quad (1)$$

$$m_2 (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) = c_1 x_2 - F_{oc}, \quad (2)$$

где F – тяговое усилие, Н; c_1 – коэффициент жесткости внешней пружины, Н/м; x_1 – деформация внешней пружины, м; x_2 – деформация внутренней пружины, м; m_1 – масса оправы ($m_1 = 0,275$ кг). m_2 – масса сверла ($m_2 = 0,05$ кг).

Далее произведем расчет тягового усилия.

Общая формула тягового усилия

$$F > \sum F_c. \quad (3)$$

Или формула (3) будет имеет вид

$$F = \alpha \sum F_c, \quad (4)$$

где $\sum F_c$ – сумма сил сопротивления, Н; α – коэффициент запаса.

Исходя из расчетной схемы, сумма сил сопротивления будет равна

$$\sum F_c = F_s - F_{ср1} - F_{ср2}, \quad (5)$$

где $F_{ср1}$ и $F_{ср2}$ – силы упругости внутренней и внешней пружины соответственно.

Расчетная схема представлена на рис. 2.

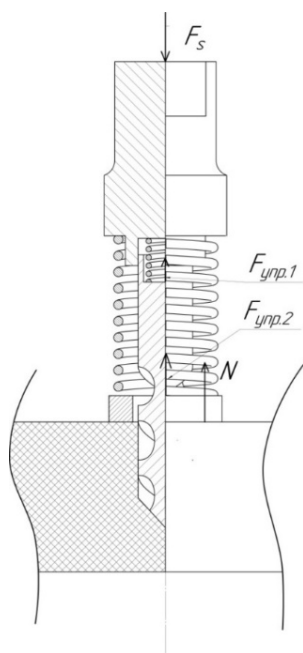


Рис. 2. Расчетная схема тягового усилия

Коэффициент запаса $\alpha = 1,3 \dots 1,5$. В расчетах принимаем $\alpha = 1,4$.

$$F = 1,4 \cdot 50,76 = 71,06 \text{ Н.}$$

Коэффициент жесткости пружин равен:

$$c_1 = \frac{Gd_D^4}{8d_F^3n}, \quad (6)$$

где G – модуль сдвига, ГПа; d_D – диаметр проволоки, м; d_F – диаметр завитки, м; n – число витков.

Модуль сдвига $G = 82$ ГПа для стали 60С2А. Диаметр проволоки $d_D = 0,003$ м, диаметр завитки $d_F = 0,022$ м, число витков $n = 10$.

$$c_1 = \frac{82 \cdot 10^9 \cdot 0,003^4}{8 \cdot 0,022^3 \cdot 10} = 7797,1 \text{ Н/м.}$$

Выразим из (1) \ddot{x}_1 и подставим в (2):

$$m_2 \left(\frac{F - c_1 x_2}{m_1} - \ddot{x}_2 \right) = c_1 x_2 - F_0. \quad (7)$$

Преобразуем выражение (7), поделив правую и левую части на m_2 :

$$\ddot{x}_2 + c_1 x_2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} = \frac{F_0}{m_2} + \frac{F}{m_1}. \quad (8)$$

Для удобства записи произведем замену:

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}; \quad K = \frac{F_0}{m_2} + \frac{F}{m_1}.$$

Масса оправы равна $m_1 = 0,275$ кг, масса сверла $m_2 = 0,05$ кг. Осевая сила $F_0 = 159,07$ Н, тяговое усилие составляет $F = 71,06$ Н.

$$\mu = \frac{0,275 \cdot 0,05}{0,275 + 0,05} = 0,042,$$

$$K = \frac{159,07}{0,05} + \frac{71,06}{0,275} = 3484.$$

Тогда выражение (8) примет вид

$$\ddot{x}_2 + \frac{c_1}{\mu} x_2 = K. \quad (9)$$

Решением данного уравнения будет являться выражение

$$x_2 = A \cos \theta k_2 t + B \sin k_2 t + \frac{K}{c_1} \mu, \quad (10)$$

где k_2 – частота колебаний, с^{-1} .

Частоту колебаний найдем из формулы

$$k_2 = \sqrt{\frac{c_1}{\mu}}. \quad (11)$$

Коэффициент жесткости внешней пружины $c_1 = 7797,1$ Н/м, $\mu = 0,042$.

$$k_2 = \sqrt{\frac{7797,1}{0,042}} = 430 \text{ с}^{-1}.$$

Для определения константы A продифференцируем выражение (10):

$$\dot{x}_2 = -Ak_2 \sin k_2 t + Bk_2 \cos k_2 t. \quad (12)$$

Начальные условия: $\dot{x}_2 = 0$; $x_2 = 0$; $t = 0$.

Тогда из (10) и (11) следует, что

$$A = -\frac{K}{c_1} \mu; \quad B = 0.$$

Таким образом, с учетом найденных констант выражение (9) примет вид

$$x_2 = \frac{K}{c_1} \mu (1 - \cos k_2 t). \quad (13)$$

Подставим выражение (13) в (2), получим

$$m_1 \ddot{x}_1 = F - K\mu (1 - \cos k_2 t). \quad (14)$$

Разделим правую и левую часть на m_1 :

$$\ddot{x}_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} + \frac{K\mu}{m_1} \cos k_2 t. \quad (15)$$

Для определения \dot{x}_1 проинтегрируем выражение (15):

$$\dot{x}_1 = \int_0^t \frac{F - K\mu}{m_1} dt + \int_0^t \frac{K\mu}{m_1} \cos k_2 t dt.$$

Получим

$$\dot{x}_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t + \frac{K\mu}{m_1 k_2} \sin k_2 t + C_1. \quad (16)$$

Чтобы найти x_1 , проинтегрируем выражение (16):

$$x_1 = \int_0^t \frac{F - K\mu}{m_1} t dt + \int_0^t \frac{K\mu}{m_1 k_2} \sin k_2 t dt + \int_0^t C_1 dt. \quad (17)$$

Получим

$$x_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 - \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} \cos k_2 t + C_1 t + C_2, \quad (18)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

Для определения постоянных интегрирования зададимся начальными условиями: $\dot{x}_1 = V_s$, так как в начальный момент времени тело m_1 двигалось со скоростью V_s ; $x_1 = 0$; $t = 0$.

Таким образом, подставив начальные условия в выражения (16) и (18), получим

$$C_1 = V_s; \quad C_2 = -\frac{K\mu}{m_1 k_2^2}.$$

Деформация внешней пружины

$$x_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} (1 - \cos k_2 t). \quad (19)$$

Шаг витка пружины $t = 0,007$ м, скорость подачи $V_s = 5$ м/мин, частота колебаний $k_2 = 430 \text{ с}^{-1}$, масса оправы $m_2 = 0,275$ кг.

$$x_1 = \frac{71 - 3484 \cdot 0,042}{0,275} 0,007^2 + 5 \cdot 0,007 + \frac{3484 \cdot 0,042}{0,275 \cdot 430^2} (1 - \cos 430 \cdot 0,007) = 0,027 \text{ м}.$$

Тогда углубление сверла z_2 найдем из выражения

$$z_2 = x_1 - x_2. \quad (20)$$

Подставив (13) и (17) в (20), получим

$$z_2 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} (1 - \cos k_2 t) - \frac{K}{c_1} \mu (1 - \cos k_2 t). \quad (21)$$

Преобразовав выражение (21) с учетом (11), получим

$$z_2 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + (1 - \cos k_2 t) \left(\frac{K\mu^2}{m_1 c_1} - \frac{K\mu}{c_1} \right). \quad (22)$$

Подставив численные значения в формулу (22), получим углубление сверла:

$$z_2 = \frac{70 - 3483 \cdot 0,042}{0,275} \cdot 0,0157^2 + 5 \cdot 0,0157 + (1 - \cos 283 \cdot 0,0157) \times \\ \times \left(\frac{3484 \cdot 0,042^2}{0,275 \cdot 3365} - \frac{3484 \cdot 0,042}{3365} \right) = 0,011 \text{ м.}$$

Однако выражение (22) довольно сложно оптимизировать, поэтому расчет будем вести с той позиции, что сила F является постоянной. Тогда $x_1 = V_s t$, $\dot{x}_1 = V_s$, $\ddot{x}_1 = 0$; $t = 0$.

$$m_2 (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) = c_2 x_2 - F; \quad (23)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 x_2 = F, \quad (24)$$

где c_2 – коэффициент жесткости внутренней пружины, Н/м.

$$c_2 = \frac{G d_D^4}{8 d_F^3 n}. \quad (25)$$

Модуль сдвига $G = 82$ ГПа для стали 60С2А. Диаметр проволоки $d_D = 0,0006$ м, диаметр заправки $d_F = 0,0054$ м, число витков $n = 12$.

$$c_2 = \frac{82 \cdot 10^9 \cdot 0,0006^4}{8 \cdot 0,0054^3 \cdot 12} = 703,01 \text{ Н/м.}$$

Произведем замену:

$$k_{20}^2 = \frac{c_2}{m_2}. \quad (26)$$

Коэффициент жесткости внутренней пружины $c_2 = 703$ Н/м, масса сверла $m_2 = 0,05$ кг.

$$k_{20}^2 = \frac{703,1}{0,05} = 14060,2 \text{ с}^{-1}.$$

Также представим F как

$$F = \frac{F_0}{h} (V_s t - x_2), \quad (27)$$

где h – биссектриса угла заточки сверла, м.

Разделим правую и левую части на m_2 и с учетом (26) и (27) получим

$$\ddot{x}_2 + k_{20}^2 x_2 = \frac{F_0}{m_2 h} (V_s t - x_2). \quad (28)$$

Для облегчения расчетов произведем замену:

$$k_2^2 = k_{20}^2 + \frac{F_0}{m_2 h}. \quad (29)$$

Осевая сила $F_0 = 159,07$ Н, биссектриса угла заточки $h = 5$ мм.

$$k_2^2 = 14060,2 + \frac{159,07}{0,05 \cdot 0,005} = 652860,2 \text{ с}^{-1};$$

$$k_2 = \sqrt{652860,2} = 808 \text{ с}^{-1}.$$

Тогда выражение (28) примет вид

$$\ddot{x}_2 + k_2^2 x_2 = \frac{F_0 V_s}{m_2 h} t. \quad (30)$$

Решением выражения (30) будет являться

$$x_2 = B \sin k_2 t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t. \quad (31)$$

Для определения констант A и B продифференцируем выражение (31).

$$\dot{x}_2 = B k_2 \cos k_2 t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2}. \quad (32)$$

Начальные условия: $\dot{x}_2 = 0$; $x_2 = 0$; $t = 0$, тогда

$$B = -\frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3}.$$

Выражение (32) примет вид

$$x_2 = \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t - \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3} \sin k_2 t; \quad (33)$$

$$x_2 = 0,0036 \text{ м.}$$

Углубления сверла найдем по формуле (5) с учетом (18) и условий работы системы, получим

$$z_2 = V_s t - \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^2} t + \frac{F_0 V_s}{m_2 h k_2^3} \sin k_2 t. \quad (34)$$

Произведем замену:

$$\frac{F_0}{m_2 h} = k_2^2 - k_{20}^2. \quad (35)$$

Тогда

$$z_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s t + \left(1 - \frac{k_{20}^2}{k_2^2}\right) \frac{V_s}{k_2} \sin k_2 t. \quad (36)$$

Продифференцировав выражение (36) с учетом (32), получим

$$\dot{z}_2 = \frac{k_{20}^2}{k_2^2} V_s + \frac{V_s}{k_2} \sin k_2 t; \quad (37)$$

$$\dot{z}_2 = \frac{14060,2}{652860,2} \cdot 5 \cdot 0,002 + \frac{5}{808} \sin (808 \cdot 0,002) = 0,0064 \text{ м.}$$

Как видно из выражения (37), при углублении сверла на z_2 скорость будет уменьшаться. Однако для точного расчета необходимы более детальные исследования.

Заключение

Согласно полученным данным величина деформации упругого элемента будет невелика, что доказывает работоспособность предложенной схемы. Соответственно, необходимо в дальнейшем исследовать другие упругие элементы для применения их в проектируемом сверлильном инструменте, что связано с различным осевым усилием при изменении технологических режимов или плотности обрабатываемого материала.

Использование данного типа инструмента при сверлении плитных материалов позволит улучшить качество получаемых отверстий при возможном увеличении производительности процесса.

Библиографический список

1. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов : учеб.-справ. пособие. – СПб.: Лань, 2010. – 336 с.
2. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания древесины. – Минск : Вышэйш. шк., 1966. – 176 с.
3. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. – М. : Лесн. пром-сть, 1966. – 94 с.
4. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 296 с.
5. Аникеенко А. Ф., Гришкевич А. А., Гаранин В. Н. Влияние элементов режима сверления ламинированных древесностружечных плит на качество поверхности // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесн. хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2 (198). – С. 391–394.
6. ГОСТ 18793-80. Пружины сжатия. Конструкция и размеры. – Введ. 1992-12-17. – Минск : Гос. Ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1992. – 88 с.
7. Грубе А. Э. Дереворежущие инструменты : учеб. пособие. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 344 с.
8. Глебов И. Т. Обработка древесины на станке с ЧПУ : учеб. пособие. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2018. – 142 с.

УДК 674.05:621.91: 621.815

В. Г. Новоселов¹, А. А. Гришкевич²
(V. G. Novoselov¹, A. A. Grishkevich²)

¹(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) koserog54@yandex.ru

²(БГТУ, г. Минск, РБ) dosy@belstu.by

ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГЛАВНЫХ ВАЛОВ И ШПИНДЕЛЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН

PROBABILITY OF FAILURE-FREE OPERATION OF MAIN SHAFTS AND SPINDLES OF WOODWORKING MACHINES

Главные валы и шпиндели деревообрабатывающих машин подвержены действию циклических нагрузок изгибающими и крутящими моментами. Наличие в их конструкции различных геометрических концентраторов напряжений уменьшает усталостную прочность и вероятность безотказной работы, что учитывается существующими методиками расчетов. Наличие установленных на валы ступиц шкивов, режущих инструментов, подшипников приводит к возникновению фреттинг-коррозии, влияние

которой на безотказность не учитывается. Предложена методика расчета вероятности безотказной работы с учетом влияния на усталостную прочность фреттинг-коррозии от насаженных на валы деталей.

The main shafts and spindles of woodworking machines are subject to the action of cyclic loads by bending and torque. The presence of various geometric stress concentrators in their structure reduces fatigue strength and the probability of failure-free operation, which is taken into account by existing calculation methods. The presence of pulleys, cutting tools, bearings fitted on the shafts leads to fretting corrosion, the effect of which on reliability is not taken into account. Method is proposed for calculation of probability of failure-free operation taking into account influence on fatigue strength of fretting-corrosion from parts fitted on shafts.

В процессе работы деревообрабатывающих машин их главные валы и шпиндели подвергаются циклическому воздействию изгибающих и крутящих моментов от сил сопротивления резанию древесины и сил инерции неуравновешенных масс звеньев механизмов. Возникающие в опасных сечениях напряжения определяются режимами эксплуатации, зависящими как от характеристик обрабатываемого сырья (размеры, порода, влаготермическое состояние), так и от режимов обработки, т.е. представляют собой случайные величины. В свою очередь, структурная неоднородность, межплавочное рассеяние химического состава и механических свойств металла, отклонение фактических размеров деталей от номинальных, вариация технологических параметров порождают рассеяние характеристик сопротивления усталости. Поэтому усталостное разрушение вала является случайным событием, вероятность наступления которого можно считать равной вероятности того, что в определенной ситуации коэффициент его запаса усталостной прочности (коэффициент безопасности) n_σ окажется менее единицы.

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{k_{\sigma_d} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \quad (1)$$

где σ_{-1} – предел выносливости; σ_a – амплитуда и σ_m – среднее значение цикла эксплуатационных напряжений; k_{σ_d} – коэффициент концентрации напряжений; ψ_σ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла.

Для деталей с «геометрическими» концентраторами напряжений типа галтелей, канавок, отверстий вероятностные методы расчета на прочность хорошо разработаны [1, 2], для соединений типа вал – втулка, подверженных фреттинг-коррозии, таких работ не обнаружено. Используя зависимости по расчету прочности данных сопряжений [2] и аппарат теории вероятностей [3], получим приближенные выражения для оценки вероятности усталостного разрушения вала с напрессовкой.

Входящие в формулу (1) параметры, наряду с амплитудой и средним значением эксплуатационных напряжений, можно считать случайными величинами, являющимися функциями других случайных величин, определяемыми по формулам

$$k_{\sigma_d} = \left(\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} + \frac{1}{\beta} - 1 \right) \frac{1}{\beta_{упр}}, \quad (2)$$

$$\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} = \left(\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \right)_0 \xi' \xi'', \quad (3)$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \sigma_\sigma, \quad (4)$$

где k_σ – коэффициент концентрации напряжений в неупрочненной шлифованной детали; ε_σ – масштабный коэффициент; β , $\beta_{упр}$ – коэффициенты влияния на усталостную

прочность технологии обработки и упрочнения детали; ξ', ξ'' – поправочные коэффициенты на давление напрессовки q и на предел прочности материала σ_B .

Данные коэффициенты определяются по приведенным в [2] графическим зависимостям, а давление напрессовки q – как для контакта толстостенного кольца со сплошным цилиндром

$$q = \frac{\delta E}{d(c_1 + c_2)}, \quad (5)$$

где δ – натяг в посадке; E – модуль упругости; d – номинальный диаметр посадки; c_1, c_2 – коэффициенты влияния на давление напрессовки размеров вала и втулки.

Известно, что математическое ожидание функции случайных величин $\bar{\varphi}(x_i)$ есть функция того же вида от их математических ожиданий $\varphi(\bar{x}_i)$, а ее дисперсия определяется по формуле

$$D\{\varphi\} = \sum \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \right)^2 D\{x_i\} + 2 \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} \frac{\partial \varphi}{\partial x_{i+1}} cov(x_i, x_{i+1}) \right], \quad (6)$$

где $D\{x_i\}$ – дисперсии случайных величин; $cov(x_i, x_{i+1})$ – ковариации случайных величин, определяемые по формуле

$$cov(x_i, x_{i+1}) = \rho_{i,i+1} \sqrt{D\{x_i\} D\{x_{i+1}\}}, \quad (7)$$

где $\rho_{i,i+1}$ – коэффициент корреляции между x_i и x_{i+1} .

Полагая случайные величины, входящие в формулы (1)–(5), независимыми, можно считать корреляцию между ними незначимой и в формуле (6) пренебречь ковариациями. Тогда задача сведется к определению математических ожиданий и дисперсий случайных величин.

В первом приближении, зная диапазон изменения случайных величин и полагая их распределение нормальным с нулевым коэффициентом асимметрии, можно принять

$$\bar{x}_i = \frac{x_{imax} + x_{imin}}{2}, \quad (8)$$

$$D\{x_i\} = \left(\frac{x_{imax} - x_{imin}}{6} \right)^2. \quad (9)$$

Учитывая, что параметры запаса прочности связаны линейными соотношениями либо монотонными функциями с медленно меняющимися производными и ввиду малости их вариаций примем закон его распределения также нормальным. Тогда вероятность безотказной работы (неразрушения) будет определяться следующим выражением:

$$P = 0,5 + \Phi \left(\frac{\bar{n}_\sigma - 1}{S_n} \right), \quad (10)$$

где Φ – оператор Лапласа; \bar{n}_σ и S_n – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение запаса прочности.

$$S_n = \sqrt{D\{n_\sigma\}}. \quad (11)$$

По предлагаемой методике оценена вероятность безотказной работы (неразрушения) коренного вала лесопильной рамы Р63-4Б, работающего в пульсирующем цикле изгиба, в месте посадки коренного подшипника. Параметры эксплуатационных напряжений и размеры посадки приведены в таблице.

Данные к расчету вероятности безотказной работы (неразрушения)
коренного вала лесопильной рамы Р63-4Б

Параметр	x_{min}	x_{max}	\bar{x}	$D\{x\}$
Предел прочности, МПа	600	750	675	625
Предел выносливости, МПа	250	340	295	225
Амплитуда напряжений, МПа	50	78	64	22
Среднее напряжение, МПа	50	78	64	22
Диаметр вала, мм	110,013	110,035	110,024	$0,146 \cdot 10^{-4}$
Диаметр подшипника, мм	109,98	110	109,99	$0,111 \cdot 10^{-4}$

Математическое ожидание предела прочности составило $\bar{n}_\sigma = 1,243$, а его среднее квадратическое отклонение $S_n = 0,0885$. При этом вероятность безотказной работы $P = 0,997$.

Полученное значение указывает на достаточно высокую вероятность безотказной работы данного элемента, однако, экстраполируя его на объемы выпуска лесопильных рам Даниловским заводом деревообрабатывающих станков в период его максимума (до 4000 рам в год), можно предполагать усталостные поломки примерно у 10–12 единиц. Случаи таких поломок отмечались в рекламационных материалах. Учитывая тяжесть последствий таких поломок, пренебрегать их малой вероятностью не следует.

Вывод. Предлагаемая методика оценки безотказности главных валов и шпинделей деревообрабатывающих машин может быть использована для инженерной оценки.

Библиографический список

1. Когаев В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М. : Машиностроение, 1977. – 232 с.
2. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. – М. : Машиностроение, 1975. – 488 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике : для научных работников и инженеров. – М. : Наука, 1978. – 832 с.

ПРОБЛЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИНЖИНИРИНГА В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

PROBLEMS OF PROFESSIONAL EDUCATION AND ENGINEERING IN THE WOODWORKING

УДК 684.4

М. В. Газеев, О. Н. Чернышев

(M. V. Gazeev, O. N. Chernishev)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) gazeev_m@list.ru

К ВОПРОСУ ПОДГОТОВКИ КОНСТРУКТОРОВ – ТЕХНОЛОГОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ДЛЯ МЕБЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

TO THE QUESTION OF TRAINING DESIGNERS-WOODWORKING TECHNOLOGISTS FOR FURNITURE COMPANIES

В статье приведены сведения о подготовке практико-ориентированных специалистов для мебельного производства с учетом современных требований федеральных стандартов и запросов производства, которые должны владеть навыками применения средств САПР при проектировании мебели.

The article provides information on the training of practice-oriented specialists for furniture production, taking into account the modern requirements of federal standards and production requests, who must be proficient in the use of CAD tools in furniture design.

В настоящее время возрос спрос на специалистов в области технологии деревообработки, вызванный ростом заказов на мебель, в частности индивидуально спроектированных конкретно под нужды заказчика, что привело к увеличению загрузки производства. Подготовка технологов для мебельных производств осуществляется в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 35.03.02 и 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Планируемыми результатами по итогам обучения являются знания, умения, владения или опыт деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы в целом.

Например, при подготовке конструкторов-технологов для мебельного производства целью ставится формирование у обучающихся теоретических и практических знаний и основ методологии проектирования изделий из древесины и методики их испытаний. Обучающийся должен приобрести знания о процессе проектирования изделий из древесины, их испытаний с учетом применения современных информационных технологий, современных методов и технических средств.

В результате обучающийся должен:

– **знать** основные правила и методы проектирования мебели (изделий из древесины и древесных материалов), нормативную документацию и методику проведения испытаний изделий мебели (из древесины);

– **уметь** находить оптимальные проектные решения для объектов проектирования (мебели), использовать программное обеспечение для формирования конструкторской и технологической документации при изготовлении мебели;

– **владеть** навыками применения средств САПР при проектировании мебели (изделий из древесины и древесных материалов) с учетом методов их испытаний, позволяющих изготавливать изделия надежные и долговечные.

Методы и средства проектирования мебели зависят от условий организации труда на мебельном предприятии. В настоящее время ввиду удовлетворения требований потребителей производители вынуждены становиться более гибкими, легко перенастраиваться под конкретные нужды. Применение систем автоматизированного проектирования (САПР) позволяет предприятиям автоматизировать проектирование на всех или отдельных стадиях проектирования объектов и их составных частей.

В настоящее время многие мебельные фирмы уже не представляют себе работу без специализированных САПР мебели, так как применение таких программ позволяет снизить затраты на проектирование в связи с сокращением сроков, повысить качество расчетных и конструкторских работ, уменьшить число макетов и опытных образцов, а также повысить качество, а вследствие снижения ошибок в проектной документации и сократить длительность цикла производства.

На сегодняшний день перечень САПР мебели представлен рядом программ, такими как bCAD, PRO100, Базис, КЗ, WOODY, KitchenDraw, Астра и др. В программе обучения технологов для мебельного производства кафедра механической обработки древесины и производственной безопасности (МОД и ПБ) применяет САПР Базис-Мебельщик.

Базис-Мебельщик – это комплексная САПР корпусной мебели, которая позволяет решать все задачи при производстве корпусной мебели: получение чертежей и спецификации изделий, таблиц технологических операций изготовления изделий, формирование карт раскроя листового и погонного материала, получение сметной документации и расчета цены изделия, получение товарных накладных, создание управляющих программ для станка с ЧПУ, трехмерная визуализация будущего изделия и др.

Следует учесть и тот факт, что кафедра МОД и ПБ постоянно взаимодействует с разработчиками программы путем проведения совместных практико-ориентированных семинаров. Так, например, 30–31 марта 2021 г. в г. Екатеринбурге состоялся практический семинар для производителей мебели, в организационный комитет которого вошли: УГЛТУ, компания «Базис-Центр», компания «ЛИГА», АО «ФИЕРА», ООО «Томские мебельные фасады» при официальной поддержке Ассоциации уральских мебельщиков. Семинар проводится на площадке УГЛТУ уже второй раз. Идея проведения таких семинаров созрела очень давно и исходила от компании «Базис-Центр» как ведущего производителя программного обеспечения Базис-Мебельщик для производства корпусной мебели. САПР Базис-Мебельщик, изучается студентами направления подготовки 35.02.03, 35.03.02 и 35.04.03 в разрезе дисциплин «Проектирование и моделирование мебели» и «Методы проектирования и испытаний изделий из древесины». В настоящее время уровень развития техники и технологий очень высокий и для того, чтобы не было инерции в реализации образовательных программ обучающихся при проведении практического семинара, реализован системный подход, отражающий интеграцию образования и практики, что приводит к их благотворному влиянию друг на друга и совершенствованию. Базис-Мебельщик очень востребован производителями мебели, и они всегда с огромным желанием и большим количеством практических вопросов приезжают на такой семинар, а студенты получают возможность поучаствовать в практическом обмене мнениями.

Официальное открытие семинара состоялось 30 марта в 9:30 в актовом зале ДКиС УГЛТУ. Первый день семинара был посвящен автоматизации проектирования мебели «Цифровизация мебельного предприятия: программные, технические, методические и кадровые аспекты». Основную работу в первый день провели специалисты

компании «Базис-Центр», которые продемонстрировали возможности программы Базис-Мебельщик.



Демонстрация работы новых инструментов Базис-Мебельщик

Второй день мероприятия 31 марта 2021 г. прошел на площадке мебельной фабрики «Аларты», где состоялась презентация современного оборудования KDT для производства корпусной мебели и фасадов, демонстрация работы станков с использованием ПО Базис-Мебельщик.

Компания «ЛИГА» обеспечила трансфер участников семинара от УГЛТУ до пос. Прохладный и обратно.

Полученные в первый день семинара управляющие файлы передали на станки с ЧПУ, которые позволили автоматизированно изготовить мебельные детали, из которых было собрано готовое изделие мебели (шкаф для кухни). При изготовлении мебели продемонстрировали следующее оборудование:

- форматно-раскроечный центр с ЧПУ KDT KS-832E;
- автоматический кромкооблицовочный станок KDT KE-468JS;
- сверлильно-присадочный центр с ЧПУ KDT KN-2309E;
- сверлильно-присадочный центр с ЧПУ KDT KN-2312E;
- обрабатывающий центр с ЧПУ для нестинга KDT KN-2710E;
- пристаночное оборудование для механизации работ.



Демонстрация работы форматно-раскроечного центра с ЧПУ KDT KS-832E

Мероприятие прошло на высоком уровне, количество участников было более 160 человек. Студенты освоили профессиональные компетенции, а преподаватели повысили свою квалификацию. Такой семинар позволил применить практико-ориентированный подход к образовательному процессу и тем самым способствовать качественному обучению студентов в освоении необходимых профессиональных компетенций.

УДК 629.1-44, 629.11.02

П. В. Королев

(P. V. Korolev)

(ИрННТУ, г. Иркутск, РФ) tpwood@rambler.ru

ВОЗРОЖДЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ В РОССИИ: ПРОГНОЗ

REVIVAL OF PROFESSIONAL EDUCATION MECHANICAL ENGINEERS IN RUSSIA: FORECAST

В статье рассматривается возможность восстановления профессионального образования инженеров-механиков в России. Дополнительные образовательные услуги для студентов – как пропуск на работу в крупную энергетическую компанию. Приведены краткосрочный и долгосрочный прогнозы в сфере профессиональной подготовки инженеров-механиков.

The article discusses the possibility of restoring the professional education of mechanical engineers in Russia. Additional educational services for students, like a pass to work in a large energy company. Short-term and long-term forecasts in the field of professional training of mechanical engineers.

Более 10 лет назад, на международном китайско-российско-монгольском Форуме инновационного образования (Китай, г. Хух-Хото), организаторы просили автора поделиться опытом и воспоминаниями о методах подготовки инженерных кадров в СССР, а также рассказать о современном состоянии и уровне подготовки инженерных кадров для экономики России. Для справки: при населении в 700 тыс. человек в городе Хух-Хото имеется 17 университетов. Во время знакомства с китайскими университетами автора больше всего поразило не качество и количество оборудования и лабораторий, не уровень финансирования исследовательских работ аспирантов, не вид студенческого городка и качество жизни в нем студентов, не количество иностранных студентов, а только одна фраза китайского профессора: «...когда вы в России разрушите свое высшее образование, мы (*китайцы*) поможем Вам его восстановить, если вы обратитесь к нам за помощью...» [1].

Эта фраза подтолкнула автора к разработке и использованию инновационных методов обучения студентов [2–5], а также к учету опыта зарубежных стран, в которые эмигрировали бывшие преподаватели ИрННТУ [6, 7].

Несмотря на эти попытки, ситуация с профессиональным образованием инженеров-механиков не улучшается, а с каждым годом становится все хуже [8]. Осталось совсем немного времени до того момента, когда преподавателям будут говорить не в устной форме, а в письменной, о том, что: «...обучение студентов в высшей школе не является приоритетной задачей преподавателя...», а оценка труда преподавателя зависит, как говорят коллеги, от «публикаторской активности».

Участвуя в работе ГЭКа в соседнем вузе и общаясь с их преподавателями, видишь, что подобные проблемы возникают у всех.

На протяжении ряда лет автор проводит анкетирование и тестирование студентов. Последнее тестирование студентов-механиков очной формы обучения в 2020 г. по дисциплине «Прикладная механика» показало следующее:

- в 6 группах из 143 студентов 14 % составляют студенты-иностранцы из Кыргызстана, Узбекистана, Таджикистана и Туркмении;

- курсовой проект по дисциплине «Прикладная механика» самостоятельно выполнили 18 % студентов;

- 57 % студентов заплатили деньги и купили курсовой проект в Интернете; меньшая часть студентов объясняет, что им проще заплатить деньги за курсовой проект, чем выполнять его самостоятельно, а большая часть студентов просто физически не может выполнить курсовой проект, так как им не хватает полученных ранее знаний. Все студенты отмечали, что дистанционное обучение, введенное из-за COVID-19, не позволило изучить сдаваемые дисциплины, в частности «Теоретическую механику»;

- 25 % студентов вообще не приступали к выполнению курсового проекта, прекрасно зная, что отчисление студентов запрещено, а сдавать курсовой проект они могут до начала защиты диплома на пятом курсе;

- уровень знаний по математике и физике у большинства студентов-иностранцев очень низкий, кроме того, за исключением студентов из Кыргызстана, студенты из Узбекистана, Таджикистана и Туркмении плохо владеют русским языком. В этом случае перед преподавателем стоит дилемма: вести занятия и «поднимать уровень знаний» иностранных студентов до среднего уровня российских студентов или «опускать уровень знаний» российских студентов;

- в это сложно поверить, но руководство факультета приняло решение исключить из программы обучения инженеров-механиков такую дисциплину, как «Соппротивление материалов» по той причине, что 50 % студентов не могут сдать экзамен по этой дисциплине. Объясняется такая ситуация просто: 54 % поступивших в университет абитуриентов имели баллы ЕГЭ по математике на уровне 2 и 3 по пятибалльной системе оценивания, а мировой опыт говорит о том, что: «... если студент не понимает математики, то он не способен стать инженером»;

- исключение дисциплины «Соппротивление материалов», в свою очередь, приводит к тому, что при выполнении курсового проекта студенты не понимают таких вещей, как расчет на прочность деталей машин, напряжение, предельное напряжение, допустимое напряжение, эпюры и т.д.

Тестирование студентов заочной формы обучения в количестве 183 человек показало, что:

- 100 % студентов заплатили деньги и купили курсовой проект в Интернете, а при защите не могут пояснить даже, что требуется выполнить и что изображено на схеме задания в курсовом проекте;

- на заочной форме обучается большое количество студентов из Казахстана, так как в Казахстане запретили заочную форму обучения с 1 января 2019 г., а вузы Казахстана переходят на дистанционную форму обучения.

Ежегодно руководство университета доводит до сотрудников кафедр «плановые показатели на учебный год», в которых требуют от преподавателя обеспечить уровень успеваемости не ниже 85 %, а уровень отчисляемых студентов за неуспеваемость – не более 10 %. Эта ситуация приводит к отрицательной селекции среди преподавателей, а именно: часть преподавателей сделала свой выбор и быстро перестроилась: успеваемость во время сдачи сессии у них возросла до 95 % и даже 100 %, рассуждая так: «раз руководство университета интересуется не качеством и уровнем знаний студентов,

а процент успеваемости», то мы будем выполнять то, что требуют. Правда, иногда случаются курьезные случаи: преподаватель жалуется, что не может добиться 100 % успеваемости, он готов поставить положительную оценку за экзамен, но студент не был на его занятиях ни разу и даже не идет получать положительную экзаменационную оценку.

В этой ситуации крупная вертикально интегрированная энергетическая компания отказалась принимать на работу выпускников университета по специальности инженер-энергетик. Компания организовала для своих будущих работников при университете учебно-исследовательский центр, в котором студенты получают дополнительные образовательные услуги в области технологического проектирования энергетического оборудования [9]. Но такие расходы по «доучиванию» студентов могут позволить себе не все работодатели.

Тестирование и анкетирование студентов показывает, что с каждым годом ситуация в сфере профессиональной подготовки инженеров-механиков только ухудшается, но дна еще не достигли. Так как есть еще небольшое количество студентов, планирующих свою будущую карьеру и старающихся повысить свой уровень образования [10]. А большая часть студентов покупает в Интернете не только курсовые проекты, в том числе и по специальным дисциплинам, но даже простые рефераты. Таким образом, они не получают умения самостоятельно мыслить и решать стандартные задачи и выполнять проекты, т.е. такие выпускники университета не состоятся как будущие инженеры. Но большая часть вины в этой ситуации лежит не на студентах. Автор не раз сталкивался с многократными предложениями с различных сайтов в Интернете о возможности легкого заработка путем написания дипломов, курсовых проектов и решения контрольных задач для студентов.

Многолетний опыт сбора и анализа фактов, приведенных в вышеназванных работах [1–10], позволяет сделать два прогноза в сфере профессиональной подготовки инженеров-механиков: краткосрочный прогноз на 5–7 лет и долгосрочный на 8–15 лет.

Краткосрочный прогноз: ситуация будет медленно ухудшаться, по словам академик РАН, ректора Сколковского института науки и технологий Александра Петровича Кулешова, «...Россия в плане подготовки инженерных кадров оказалась на задворках цивилизации» [11]. С большой долей вероятности можно предположить, что национальный проект РФ «Образование» на 2019–2024 гг. не достигнет своей цели, а именно: «Обеспечение глобальной конкурентоспособности российского образования, вхождение РФ в число 10 ведущих стран мира по качеству общего образования».

Причины недостижения цели проанализированы не будут, ответственные за реализацию проекта наказаны не будут, а будет принят очередной национальный проект на следующие 6 лет. Очень вероятно, что к разработке очередного проекта не будут допущены профессионалы из сферы образования. Опыт Казахстана по внедрению дистанционного высшего образования постараются также широко использовать в России без учета того, что во всем мире такая система обучения используется в основном для повышения квалификации.

Долгосрочный прогноз: через 10–15 лет в России не останется инженеров и ученых, которые своим трудом создали такой «задел» во многих областях науки и техники, который до сих пор используют эффективные менеджеры. Эти инженеры и ученые или уехали за рубеж, или уйдут на пенсию по возрасту.

Новые инженеры смогут только эксплуатировать зарубежную технику, а создавать отечественные образцы машиностроительной продукции им будет уже не под силу. Они не смогут разрабатывать новые технологии, а будут стараться адаптировать заимствованные и не самые передовые технологии. В дальнейшем работодатели будут отказываться и от услуг этих посредственных инженеров, а следовательно, будет

сокращаться не только область приложения их сил, но, самое главное, будет сокращаться потребность в их количестве.

В результате российский сектор науки деградирует, а большинство отраслей промышленности отстанет не только от развитых, но и от развивающихся стран. В России появятся вакансии не дворников и строителей, а вакансии инженеров и технологов. Эти вакансии будут заполняться иностранными специалистами или российскими специалистами, получившими высшее образование за рубежом.

Помощь у Китая по восстановлению высшего образования просить не будут, а приступят к процессу оптимизации числа российских вузов, так как их выпускники будут все менее востребованными. Оставшиеся вузы станут в лучшем случае тьютерами зарубежных университетов.

Автор считает, что для создания в России новой инженерной школы потребуется минимум 20–30 лет при условии «внешней» поддержки, в противном случае разрыв в подготовке инженерных кадров с передовыми странами будет только увеличиваться.

Библиографический список

1. Королев П. В., Щербак В. П. Инновационная деятельность в Иркутской области // Проблемы подготовки кадров для инновационной экономики : матер. китайско-российско-монгольского Форума инновационного образования 21–24 июня 2010 г. – г. Хух-Хото, КНР, 2010. – С. 53–56.
2. Королев П. В., Фокин И. В. Применение инновационных технологий и интерактивных методов обучения при изучении курса «Теория машин и механизмов» // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. II Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 11–13 апреля 2012 г.). – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. – С. 171–177.
3. Королев П. В., Шкабардня И. В., Синенков Н. А. Инновационные методики изучения дисциплины «Детали машин и основы конструирования» бакалаврами на основе Дальтон-плана // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. III Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 11–12 апреля 2013 г.). – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. – С. 426–432.
4. Королев П. В. Система инновационного инженерного образования бакалавров // Современ. общ-во, образование и наука : междунар. науч.-практич. конф., 31 июля 2013 г. – Ч. 5. – Тамбов : Бизнес-Наука-Общество, 2013. – С. 83–84.
5. Королев П. В. Инновационные технологии при обучении бакалавров // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 12 (83). – С. 402–406.
6. Королев П. В., Ратинер М. М. Проблемы подготовки инженерных кадров для машиностроительных производств лесного комплекса // Тр. XIII Междунар. Евразийского симпозиума 18–21 сентября 2018 г. – Екатеринбург, 2018. – С. 216–223.
7. Королев П. В., Ратинер М. М. Инновационные технологии при подготовке инженерных кадров для машиностроительных производств с использованием электронного обучения // Тр. XIV Междунар. Евразийского симпозиума 17–20 сентября 2019 г. – Екатеринбург, 2019. – С. 164–170.
8. Королев П. В., Ратинер М. М. Как российские университеты теряют подготовку инженерных кадров // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2019. – С. 313–320.
9. Королев П. В. Учебная программа дисциплины «Основы конструирования» для дополнительной профессиональной образовательной программы: «Технологическое проектирование энергетического оборудования» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и заключивших договор с Корпоративным учебно-исследовательским центром

«Иркутскэнерго – ИРНИТУ» на дополнительные образовательные услуги в области технологического проектирования энергетического оборудования. – Иркутск : ИРНИТУ, 2020. – 13 с.

10. Королев П. В., Мартышенко А. И., Степанов С. В. Расчет показателей надежности клиноременных передач на примере привода ленточного конвейера // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. XIII Всерос. науч.-техн. конф. «Авиамашиностроение и транспорт Сибири», 23.12.2019 г. – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2019. – С. 71–76.

11. Агентство новостей «Строительный бизнес». – URL: <http://ancb.ru/publication/read/4086>

УДК 531(077)

Л. Т. Раевская, В. А. Калентьев

(L. T. Raevskaya, V. A. Kalentiev)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) ltrvsk@yandex.ru

(УрИ ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, РФ) volf.vak@gmail.com

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

DIGITALIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS AND PROBLEMS OF DISTANCE LEARNING

В данной работе рассмотрены сложности образовательного процесса, связанные с необходимостью перехода на дистанционное обучение. Формирование определенных компетенций затруднено из-за отсутствия прямого общения с преподавателем, соответствующего оборудования и устойчивого доступа к интернет-ресурсам. Выросла нагрузка на преподавателя, вынужденного искать возможности объединения интерактивных методов, кейсов и программных комплексов в формате дистанционного обучения.

This paper discusses the complexity of the educational process associated with the need to go to distance learning. The formation of certain competencies is difficult due to the lack of direct communication with the teacher, appropriate equipment and stable access to Internet resources. The load on the teacher has grown, forced to look for opportunities to combine interactive methods, cases and software systems in the format of distance learning.

Во всем мире происходит активный процесс цифровизации образовательного процесса. Это связано в том числе и с необходимостью проведения образовательного процесса дистанционно в условиях пандемии COVID-19. Были предприняты беспрецедентные меры борьбы с данным заболеванием. Все страны впервые столкнулись с такими масштабными ограничениями, которые пришлось ввести для того, чтобы сдержать распространение инфекции. В настоящее время, в июне 2021 г., в России происходит новый всплеск пандемии, возможно, из-за мутации вируса, что вынуждает администрацию отправлять работников на дистанционное общение. Эти ограничения оказали колоссальное влияние на процесс обучения в нашей стране.

В большинстве вузов обучающиеся вынуждены были переходить на дистанционное обучение в 2020 г. и в первые месяцы текущего года. Конечно, такой формат образования существовал и раньше, но в значительно меньших масштабах. В вузах обычно дистанционно занимались студенты заочной формы обучения. Для

профессорско-преподавательского состава (ППС) кафедр переход от проведения обычных очных занятий к занятиям в удаленном формате стал очень непростым, поскольку пришлось в экстренном порядке пересматривать и модернизировать различные аспекты своей преподавательской работы.

Не вызывает сомнений, что специалист с высшим техническим образованием должен обладать такими компетенциями, как «математическое моделирование процессов, оборудования и производственных объектов с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования и проведения исследований;

проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;

проведение технических измерений, составление описаний проводимых исследований, подготовка данных для составления научных обзоров и публикаций» [1] и т. д.

На кафедре технологических машин и технологии машиностроения Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ) и на кафедре пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств Уральского института ГПС МЧС России во время лекций, лабораторных и практических занятий постоянно используются системы программного обеспечения, интерактивное учебное оборудование, интернет-ресурсы, презентации с мультимедийным контентом.

Обучающиеся УГЛТУ дистанционно изучали курс дисциплин блока «Механика» с использованием программного обеспечения в системе MOODLE. Преподаватели стараются использовать весь доступный спектр современных образовательных технологий, а не только общение с помощью системы MOODLE. Так, например, для демонстрации возможностей математического и имитационного моделирования процессов было предложено рассмотреть устройство-регулятор, основными блоками которого являлись управляющее устройство и объект управления с обратной связью и входным X и выходным Y параметрами (рис. 1). Целью моделирования были ознакомление с инструментальными возможностями программных пакетов Scilab и MatLab и получение навыков первоначальной работы с системами визуального моделирования Xcos и Simulation. Исследование на ЭВМ динамических свойств объекта способствовало приобретению навыка имитационного и математического моделирования процессов и автоматизированного проектирования и проведения исследований. Задавая конкретные настроечные параметры, обучающиеся определяли время переходного процесса и находили оптимальные параметры системы, при которых это время было минимальным.

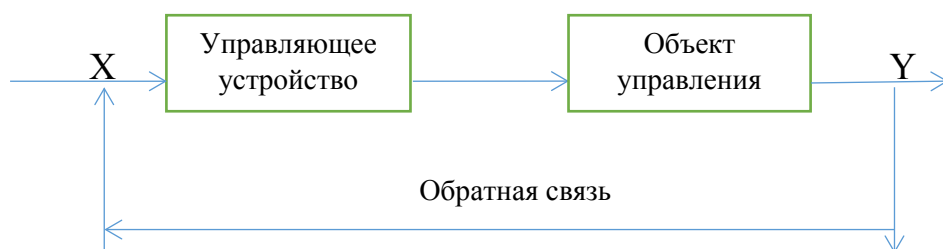


Рис. 1. Модель регулирования

При рассмотрении теории колебаний на примере амортизатора автомобиля предлагалась простейшая схема механической системы (рис. 2), дифференциальное уравнение которой для определения закона движения решалось с помощью программного комплекса SciLab.

Моделируемая система представляла собой тело, прикрепленное к невесомой пружине, другой конец которой жестко закреплен. На тело действуют сила упругости пружины и сила трения.

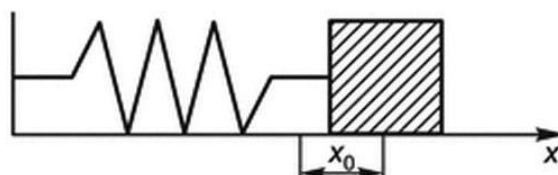


Рис. 2. Схема механической системы. x_0 – начальная координата

В Уральском институте ГПС МЧС России возможности для удаленной работы с обучающимися к тому времени уже существовали. Система дистанционного обучения (СДО) To study в течение последних нескольких лет использовалась для занятий с заочниками, программное обеспечение для видеоконференций и вебинаров BigBlueButton было синхронизировано с СДО To study, образовательный контент с теоретическим материалом для изучения всех необходимых дисциплин также ранее был загружен в To study. Для работы со студентами и курсантами очной формы обучения руководство института предложило платформу Zoom. Работала Zoom всегда стабильно, обладала интуитивно понятным интерфейсом. Единственный обнаруженный недостаток заключается в том, что бесплатная версия программы дает возможность проводить видеоконференции продолжительностью не более 40 мин, после чего приходилось перезагружаться.

В итоге руководством института была закуплена СДО для очной формы обучения «Прометей». Программное обеспечение для видеоконференций и вебинаров OpenMeeting было синхронизировано с СДО «Прометей», образовательный контент с теоретическим материалом для изучения всех необходимых дисциплин срочным образом загружался ППС в «Прометей». Не совсем ясным оставалось только следующее: как преподаватель, находясь дома за компьютером, должен выполнять лабораторную работу, чтобы при этом данный процесс могли наблюдать обучающиеся, которые, в свою очередь, тоже находятся у себя дома. К тому же не у каждого из них был в наличие компьютер для учебы, некоторой части студентов пришлось подключаться к вебинарам со смартфонов да и интернет-связь, особенно удаленных районов, не всегда стабильна.

Похожим образом обстоят дела с большинством лабораторных работ, причем здесь уже, как правило, не имеет значения, к специальным дисциплинам относится данная работа или к общеобразовательным. Методика проведения лабораторных занятий в том случае, если и преподаватель и обучающиеся находятся в лаборатории, которая оснащена всем необходимым оборудованием, отлажена десятилетиями и не вызывает каких-либо сложностей и вопросов. Но в дистанционном формате, когда у обучающихся нет доступа к лабораторным установкам, занятие чаще сводится все к той же демонстрации видеороликов плюс презентации и комментарии преподавателя. В данной ситуации хорошим подспорьем могли бы оказаться виртуальные лаборатории. Основная проблема в том, что они довольно дороги и по этой причине не всегда могут быть доступны.

Из-за недостаточной стабильности работы OpenMeeting преподавателям приходилось время от времени пользоваться альтернативными программами, например Zoom. Получение знаний в формате дистанционного обучения вызывает определенные затруднения. В большей степени это, конечно, касается специальных дисциплин, таких

как пожарная тактика или подготовка газодымозащитника. Вряд ли кто-то будет утверждать, что личное участие в полевых учениях по тушению резервуарного парка можно сравнить по эффективности с просмотром видеороликов и презентаций по аналогичной тематике. Точно так же выполнение поставленных задач в составе звена газодымозащитной службы на занятиях в теплодымокамере – это далеко не то же самое, что просмотр видеофайла с записью того, как это делают другие люди.

Жизнь диктует свои условия при подготовке квалифицированных кадров. Примером может служить пожар в клубе «Хромая лошадь» в ночь на 5 декабря 2009 г. В результате трагедии погибло 156 человек, около 100 получили травмы разной степени тяжести. Уже через три минуты к месту ЧП прибыло восемь пожарных расчетов. Пожару был присвоен третий повышенный ранг сложности, после чего к месту трагедии были направлены еще 20 расчетов пожарных и спасателей. Вместе с тушением пожара была организована эвакуация людей. Всего на пожаре было задействовано 120 сотрудников МЧС.

Дистанционное общение сильно усложняло контроль за проведением практических и лабораторных занятий, уменьшало возможности проверки записи программ отдельными слушателями, поиска ошибок набранных программ, консультаций. Не всегда удавалось ответить на возникающие вопросы в течение занятия. Кроме того, к сожалению, не все студенты обладают качественным оборудованием и устойчивой интернет-связью. Годами ранее мы ориентировались в большей степени на интерактивные методы. Так, для «формирования навыков научного исследования эффективны кейсы, которые имитируют структуру и процесс научного исследования, применение тех или иных методов к решению поставленных задач» [2]. В последнее время ситуация в мире диктует более активное внедрение цифровых технологий в образовательный процесс, добавляя их к интерактивным методам.

В заключение хотелось бы сказать, что проведенный нами выборочный опрос обучающихся говорит о том, что дистанционное обучение, несомненно, проигрывает очному обучению и личным контактам с преподавателями. Формирование определенных компетенций порой затруднено в настоящее время из-за отсутствия прямого общения с преподавателем, устойчивого доступа к интернет-ресурсам и соответствующего оборудования. Выросла нагрузка на преподавателя, вынужденного искать возможности объединения интерактивных методов, кейсов и программных комплексов в формате дистанционного обучения.

Дистанционное взаимодействие создает немало проблем, которые необходимо постепенно решать, в первую очередь обеспечивая студентов техникой и устойчивым доступом к интернет-ресурсам.

Библиографический список

1. ФГОС ВО направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 20 октября 2015 г. № 1170. – URL: <http://fgosvo.ru>
2. Калентьев В. А., Раевская Л. Т. Использование ситуационного анализа в обучении // Междунар. жур. экспериментальн. образования. – 2017. – № 3. – С. 79–80.

УДК 004.94

Л. Т. Раевская
(L. T. Raevskaya)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) ltrvsk@yandex.ru

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ Xcos
В КОМПЛЕКСЕ ПРОГРАММ SciLab****Xcos SIMULATION WITH SciLab SOFTWARE**

В данной работе рассмотрены возможности имитационного моделирования в прикладном пакете Xcos комплекса программ Scilab. Компьютерные технологии последних лет позволили ставить эксперименты и проводить исследования процессов, объектов в случае, когда на реальном объекте это невозможно сделать или дорого. В работе приведены результаты построения с помощью модулей из палитры блоков Xcos модели, генерирующей совокупность двух сигналов определенного вида. Результат исследования дал возможность оценить скорость и время затухания воздействия одного из сигналов.

In this paper, the possibilities of simulation in the Xcos application package of the Scilab program complex are considered. Computer technologies of recent years have made it possible to set up experiments and conduct research on processes, objects in the case when it is impossible or expensive to do this on a real object. The paper presents the results of constructing, using modules from the Xcos block palette, a model that generates a set of two signals of a certain type. The result of the study made it possible to estimate the speed and decay time of the impact of one of the signals.

Если планирование экспериментальных исследований невозможно на реальном объекте, тогда можно заменить этот объект моделью. Подобная замена целесообразна при слишком дорогих или опасных объектах исследования. Моделирование – такой метод исследования, который позволяет имитировать процесс или объект с целью изучения поведения объекта в тех или иных условиях, оптимизации параметров или оценки функционирования в заданных условиях и т. д. В технике чаще реализуют математическое моделирование. Согласно классификации [1], этот вид моделирования делится на аналитическое, комбинированное и имитационное. В данной работе нами было проведено исследование модели на основе имитационного моделирования.

При имитационном моделировании с помощью компьютерных технологий воспроизводят процесс функционирования системы. При этом может учитываться или не учитываться влияние внешней среды. Подобное моделирование удобно при проведении исследований сложных механических, гидравлических, теплотехнических и электроэнергетических систем и комплексов.

Пакет визуального моделирования Xcos программного комплекса Scilab позволяет графически моделировать динамические системы с помощью специальных компонентов (блоков), связанных между собой, имитировать затем какой-либо процесс, изменять параметры системы с целью, например, оптимизации, тестировать систему. Функциональные блоки элементов моделируемой системы могут, в свою очередь, представлять вложенные подсистемы со своей организацией, образуя иерархические структуры. Пакет Xcos содержит значительную библиотеку компонентов (блоков), называемую палитрой блоков. Библиотека включает источники сигналов и воздействий с любыми временными зависимостями, масштабирующие, линейные и нелинейные преобразователи с разнообразными формами передаточных характеристик, интегрирующие

и дифференцирующие блоки и т. д. Xcos относится к визуально ориентированному языку программирования [2]. Кроме того, для всех блоков существует возможность индивидуальной настройки: можно изменять как внутренние параметры блоков (количество входов), так и их внешний вид (размер), можно в модель включать инструменты из ядра комплекса *SciLab* [3]. Есть возможность создавать свои собственные блоки и составлять новые библиотеки блоков, наблюдать за процессами, происходящими в системах, тем самым давая наиболее точную оценку и прогноз различным процессам и явлениям. Функционирование модели может задаваться передаточными функциями, которые, по сути, являются особой формой записи дифференциальных уравнений в операторной форме.

Формальная схема математической модели представлена на рис. 1, где $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – входные сигналы или параметры; $V(v_1, v_2, \dots, v_n)$ – воздействия внешней среды на объект; $H(h_1, h_2, \dots, h_n)$ – характеристики внутреннего состояния исследуемого объекта; $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ – выходные сигналы или параметры объекта.

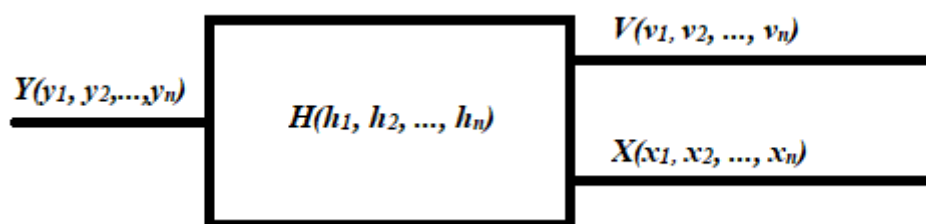


Рис. 1. Формальная схема математической модели

Продemonстрируем на конкретной модели постановку небольшого эксперимента по получению сигнала определенного вида. Создадим модель эксперимента в пакете Xcos *Scilab*. Пусть необходимо графически смоделировать зависимость от времени следующей функции:

$$y(t) = \sin(t) + \sin(2t) e^{-0,1t}. \quad (1)$$

Для создания модели выполнялись следующие шаги:

- размещение блоков в окне модели;
- создание связей между блоками;
- задание параметров блоков;
- настройка параметров моделирования;
- моделирование и отображение результатов.

Схема собранной из блоков модели представлена на рис. 2. Все блоки отыскивались в палитре блоков.

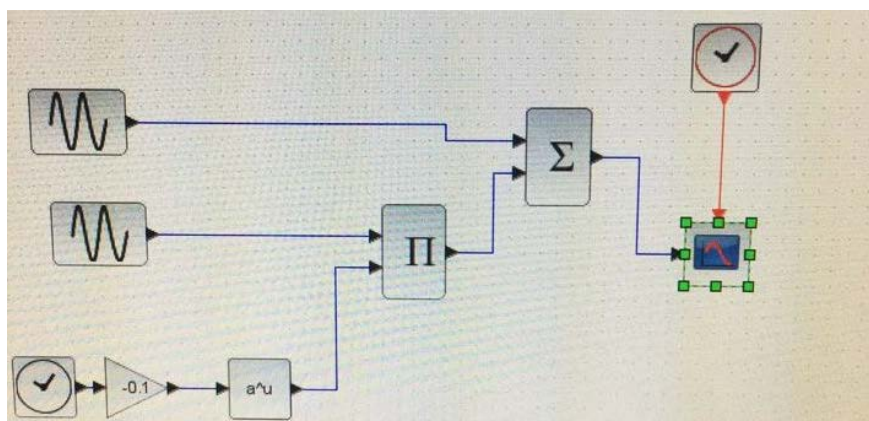


Рис. 2. Схема моделирования сигнала $\sin(t) + \sin(2t) e^{-0,1t}$

Входные сигналы (X) согласно функции (1) – это синусоидальные воздействия, которые создавались специальным блоком *GENSIN_f* – генератором синусоидальной функции; частота одной из синусоид увеличивалась вдвое, что и требовалось в соотношении (1). Умножение $\sin(2t)$ на показательную функцию $e^{-0,1t}$ осуществлялось с помощью блока *PRODUCT* – перемножение функций (П – на схеме рис. 2); сама функция $e^{-0,1t}$ составлялась с помощью блоков *EXPBLK_m* (устанавливает значения показателя степени функции), блока *TIME_f* (функция запаздывания) и *GAINBLK_f* – умножение входной величины на заданный коэффициент. Выходной параметр (Y) – это сигнал, отображаемый на осциллографе (выбирался самый простой одноканальный осциллограф *CSCOPE*), задавалось время работы осциллографа соединенным с ним часовым блоком *CLOCK_c*. Сложение функций в соотношении (1) обеспечивалось блоком *SUMMATION* (Σ). Результат (рис. 3) появлялся в графическом окне. По оси x откладывалось время в секундах, по оси y – величина амплитуды.

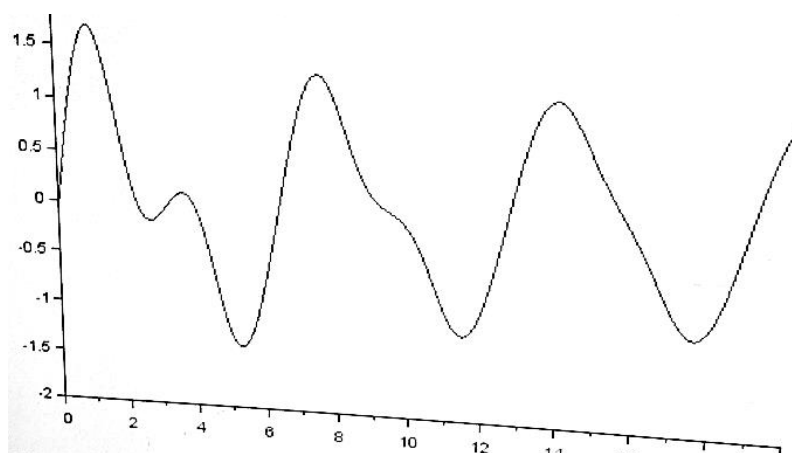


Рис.3. График функции $\sin(t) + \sin(2t)e^{-0,1t}$

Из анализа полученного графика делался вывод, что через 10–11 с влияние второго слагаемого из уравнения (1) на выходной сигнал сводилось практически к нулю из-за показательной функции. Функция $\sin(2t)e^{-0,1t}$ заметно меняла общую картину при малых значениях времени t .

Мы проиллюстрировали возможности графического моделирования пакета *Scilab* на примере построения функции $\sin(t) + \sin(2t)e^{-0,1t}$. Немного познакомились с принципом действия некоторых блоков для работы с различными параметрами и функциями.

Таким образом, имитационное моделирование позволяет получить математическое описание и прогнозирование различных процессов в технических системах. Разработчику можно не погружаться в изучение языка программирования, достаточно овладеть навыком построения модели визуальными блоками *Xcos*.

Библиографический список

1. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем : учебник для вузов. – 3-е изд. – М. : Высш. шк., 2001. – 343 с.
2. Моделирование систем в программной среде Scilab & Xcos 5.5.1. – URL: <https://www.kv.by/content/334597-modelirovanie-sistem-v-programmnoi-srede-scilab-xcos-551> (дата обращения: 21.04.2019).
3. Имитационное моделирование в среде Xcos системе Scilab. – URL: <https://www.metod-kopilka.ru/imitacionnoe-modelirovanie-v-srede-xcos-sisteme-scilab-70596.html> (дата обращения: 22.04.2019).

УДК 378.1

А. В. Шустов, М. А. Шустов
(A. V. Shustov, M. A. Shustov)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) al.v.shustov@mail.ru

СМАРТ-АНАЛИЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА
35.03.02 «ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ
И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ»

SMART ANALYSIS OF THE EDUCATIONAL STANDARD
35.03.02 «TECHNOLOGY OF LOGGING
END WOODWORKING INDUSTRIES»

Проанализированы федеральный государственный образовательный стандарт, новая классификация компетенций с позиций обучающихся и преподавателей в современных условиях деревообработки

The federal state educational standard, a new classification of competencies from the positions of students and teachers in modern woodworking conditions are analyzed

Осенью 2021 г. УГЛТУ предстоит аккредитация по всем направлениям обучения. В работах [1, 2] были критически проанализированы некоторые нормативно-правовые документы в области образования: национальные проекты и программы, связанные с высшим инженерным образованием, и Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 27.03.02 «Управление качеством». Но это был ФГОС «З+». В настоящее время действуют стандарты «З++».

В данной работе проанализирован с точки зрения преподавателя и студента (обучающегося) ФГОС «З++» по направлению подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» (уровень бакалавриата) № 698 от 26.06.2017. Возникают некоторые вопросы в компетентности разработчиков различных компетенций в стандартах. Рекомендованы области профессиональной деятельности для выпускников 35.03.02: 01 – образование и наука (в сфере научных исследований), а в последующих общепрофессиональных компетенциях ОПК про науку ничего не говорится. Почему-то для лесозаготовителей и деревообрабочников указана область 02 – лесное хозяйство и охота.

Безусловно, студентам важны физическая культура и спорт, но не в ущерб инженерным дисциплинам. А рекомендуют в ФГОС 328 академических часов для обязательного освоения. Реально же обучающиеся пишут рефераты по физкультуре вместо практических занятий на свежем воздухе.

Вместо общекультурных компетенций ОК в стандартах «З++» предложены зачем-то универсальные компетенции УК, которые могут включаться в обязательную часть программы. Вызывает удивление УК-6 – способность управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни!? То есть нужно научить бакалавров учиться до пенсии, до 65 лет, до которой многие, к сожалению, в России не доживут.

В ФГОС «З++» не сформулировано ни одной профессиональной компетенции ПК, которые можно включать или не включать в программы. В стандартах «З+» ПК были, а в ФГОС ВПО были еще точнее сформулированы с точки зрения профессиональной деятельности выпускников.

По стандарту 35.03.02 «З++» очень трудно определить УК, ОПК или ПК для конкретных инженерных дисциплин: материаловедение, технология конструкционных

материалов, метрология, стандартизация и сертификация, сопротивление материалов, технология машиностроения, инженерная графика, теоретическая механика и т.п. Получается, что их вообще можно убрать из плана подготовки.

Можно согласиться с конкретизацией перечня профессиональных стандартов, соответствующих деятельности выпускников, освоивших программу бакалавриата по направлению 35.03.02, – стандарты 23.038, 23.045 и т.д., по которым можно уточнить ПК, например обработка заготовок и деталей в производстве мебели, контроль качества производимой мебели, системы автоматического проектирования в деревообрабатывающем и мебельном производстве. Но очевидно явное переключивание определения самых важных для выпускников профессиональных компетенций ПК из ФГОС в профессиональные стандарты.

Непонятно и спорно положение о индикаторах достижения компетенций (УК, ОПК и при наличии ПК). Каковы могут быть индикаторы достижений по пресловутой УК-6 в течение всей жизни, скажем, в 30, 50 или 75 лет?

Заключение

Анализ ФГОС «3++» по направлению 35.03.02 показывает, что даже по сравнению с ФГОС «3+» и ФГОС ВПО снижается уровень инженерного образования в области деревообработки.

Библиографический список

1. Шустов А. В. Критический анализ образовательного стандарта 27.03.02 Управление качеством // 90-летний опыт и перспективы подготовки многопрофильных инженерных кадров УГЛТУ. Вклад в глобальную экологию : матер. Рос. науч.-метод. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург, 2020. – С. 38–40.
2. Шустов А. В. Смарт-анализ национальных проектов в области образования // 90-летний опыт и перспективы подготовки многопрофильных инженерных кадров УГЛТУ. Вклад в глобальную экологию : матер. Рос. науч.-метод. конф. с междунар. участием. – Екатеринбург, 2020. – С. 40–43.

УДК 004: 630*: 519.7

С. Б. Якимович
(S. B. Yakimovich)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) yakimovichsb@m.usfeu.ru

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

DIGITALIZATION OF EDUCATION AND PRODUCTION OF THE TIMBER INDUSTRY

В статье рассмотрены основные вопросы и проблемы цифровизации направлений подготовки 35.03.02, 35.04.02 профилей «Инженерное дело в лесопромышленном комплексе» и «Инженерное управление в лесопромышленном комплексе» в рамках национального проекта РФ «Цифровая экономика». Даны понятия цифровизации, представлены возможные направления развития для лесопромышленного комплекса.

The article considers the main issues and problems of digitalization of the training areas 35.03.02, 35.04.02 profiles «Engineering in the timber industry complex» and

«Engineering management in the timber industry complex» within the framework of the national project of the Russian Federation «Digital Economy». The concepts of digitalization are given, possible directions of development for the timber industry are presented.

На текущий момент понятие цифровизации не имеет исчерпывающего и полного определения, и в этой связи будем здесь считать, что это использование дискретной информационной технологии, включающей совокупность сведений, которые необходимо отображать, фиксировать, передавать, хранить, преобразовывать и использовать в соответствии с потребностями [1] абсолютно во всех сферах человеческой деятельности и особенно бытовой. Цифровая, дискретная технология является частью информационной технологии (ИТ), содержащей также непрерывную аналоговую составляющую.

Периодически начиная с 50-х годов прошлого столетия наблюдалась активность (витки той самой спирали) использования цифровой технологии, связанная с изменением и появлением новой аппаратной базы, новых разделов математики с соответствующим алгоритмическим и программным обеспечением, включая системы связи и искусственного интеллекта. Предыдущая активность была связана с персональными компьютерами и присущими им программным обеспечением и системами связи, с интегрированными полезными достижениями на базе больших электронных систем машин типа ЕС ЭВМ и др. Текущая, назовем ее смартфонной, активность со своим программным обеспечением и системами связи и интегрированными достижениями прошлых периодов отличается использованием в сфере производства и образования бытовых устройств и технологий, массово распространенных в обществе, но не всегда обладающих требуемым качеством.

Вопрос, что эффективнее – цифровая или аналоговая технологии, не однозначен. Полагаю, мы находимся на новом, каком-то по счету, витке спирали, отражающей дискретные сигналы, начиная с сигналов первобытного человека. Причем причина этого витка в основе содержит новые, более производительные средства передачи, обработки и хранения информации. Непрерывный или аналоговый сигнал (применение человеком) появился значительно позже. Но пока это так, и человеку проще то, что более эффективно, чем эффективнее. Поэтому мы изрядно подсели на дискретное, в том числе и детское воздействие пальцем на экраны! Однако общие содержательные принципы или способы работы с информацией остаются неизменны и каждому торрент-, блокчейн-, майл- или любому другому протоколу найдутся полные их аналоги, применяемые человечеством в доцифровой эре. И, так или иначе, пока цифровизация ускоряет информационные обмены, повышает их качество, ее надо использовать. Пока! Пока она не начнет тащить нас обратно к первобытному человеку. Поэтому вопросы и проблемы цифровизации актуальны и рассмотрим мы их в свете национальных проектов и фактического положения дел в области заготовки и первичной переработки древесины и системе подготовки высших кадров для неё.

С этой целью введем небольшую классификацию информационных технологий, в основном это специализированное программное обеспечение по целевому назначению.

1. ИТ для образовательного процесса (обучающие и администрирующие).
2. ИТ для целей производства, изучаемая в учебном процессе или требующая изучения в соответствии с компетенциями ФГОС.
3. ИТ для реализации функций государственного управления, контроля в образовании, производстве и других сферах человеческой деятельности – 1С, ЕГАИС, ЕГИСУ, декларации и пр.

Последний, третий, пункт имеет наименьшую ценность и степень полезности, но всегда был в приоритете, см. например национальный проект «Цифровая эконо-

мика» [2]. Из шести федеральных проектов в рамках национального три проекта «Нормативное регулирование цифровой среды» и «Цифровое государственное управление», «Информационная безопасность» полностью или в большей мере посвящены государственным функциям, проект «Информационная структура» в большей своей части направлен на реализацию и обеспечение ресурсами государственных органов власти, включая ЦОД для государственных функций, и в меньшей мере на обеспечение интернет-доступа, развития Интернета вещей, картографии в интересах населения страны. Проекты «Кадры для цифровой экономики» предполагают поддержку перспективных технологий образования для цифровой экономики, персональных траекторий развития компетенций граждан, но не ясны критерии их отбора и до сих пор мы не реализуем в полной мере подготовку в этой сфере, поскольку все обучение в большей степени ориентировано на ИТ для ИТ. Предметные и содержательные сферы, например лесопромышленного комплекса, здесь приложения не получили. Модель цифрового университета [3, с. 9] предполагает самое простое – подготовку студентов ИТ-специальностей для ИТ-специальностей – и не рассматривает качество предметных и содержательных сфер цифрового контента различных отраслей. В Томском политехническом университете наряду [4] с позитивными подходами (Каждый должен будет стать специалистом в области наук о данных. КАЖДЫЙ должен научиться программированию! Неприемлемость тестовой системы. Виртуальные реальности) наблюдается превалирование систем администрирования и управления учебным процессом, фиксирование положительного, некритического отношения к системам искусственного интеллекта. То есть вузы, реализующие разработку моделей цифровых университетов, логично пошли по менее затратному пути по аналогии с национальным проектом цифровой экономики – развитие ИТ в области администрирования и отчетности. Это вместо того, чтобы усилить вектор на цифровизацию содержательных предметных направлений различных отраслей и прежде всего прикладных компетенций. Отметим также, что наряду с менее затратным путем реализации цифрового университета имеется еще одна из важнейших причин низкого качества предметных и содержательных сфер цифрового контента различных отраслей. Это ужасающая загруженность творческих людей отчетностью различного вида и работами по формам для аккредитации. Естественно, при данном красивом оформлении задач национальных проектов не может идти речи о качестве развития.

В центры сквозных цифровых технологий федерального проекта «Цифровые технологии» мы не вошли, но есть надежда, что технологии виртуальной и дополненной реальности у нас когда-нибудь появятся.

По первым двум позициям классификации финансирование в явном виде по национальным проектам не предусмотрено, за исключением проекта «Цифровая школа» для общего и среднего профессионального образования, но в ряде проектов имеет место быть. Например, в национальном проекте «Образование» федеральный проект «Повышение конкурентоспособности российского высшего образования» предусматривает развитие онлайн-курсов, но не прикладного программного обеспечения для целей производства и их изучения. И в то же время учебные комплексы и симуляторы, обязательные в прикладной сфере высшего образования, отсутствуют, но предусматриваются в общеобразовательной и средней профессиональной школе по разделам физики, математики и технологии. Инженерные тренинги и результативность в прикладных профессиях остаются на практике последующей работы по принципу получится – оставят, нет – уволят. По направлению 35.03.02, профиль «Инженерное дело», подобные комплексы имеются. Это симуляторы известных производителей машин для заготовки древесины Комацу, Джон Дир, Понссе. Они вполне пригодны для разработки новых сквозных или дополнительных компетенций при реализации новых схем, способов,

приемов работы машин в системе харвестер – форвардер, разработки моделей работы оператора машин для заготовки и обработки древесины с интеллектуальными системами управления в целях синхронизации работы систем и рационального природопользования, а также мониторинга и управления производительностью парка машин на основе симуляторов и программного обеспечения MaxiFleet, TimberOffice, PONSSE MANAGER и др., разработки методики и программ обучения и приложения их на практике. Имеется их некоторая ограниченность в части инженерных приложений в связи с ограниченностью математических моделей оптимизации по различным критериям [5]. Очевидно, что при наличии большего значения подобных проектов в национальных программах российские инженеры нашли бы свою нишу в развитии этого программного обеспечения. Однако в национальный проект это направление не вошло, поданная заявка с коммерческими предложениями реализации не получила. Российские посредники, реализующие подобные системы, имеют определенное недоверие к российским разработчикам программного обеспечения для них. Российские разработчики и производители машин для заготовки древесины, в частности АО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» (УралВагонЗавод, г. Нижний Тагил), в инновациях такого рода не заинтересованы. Очевидно, необходимо искать варианты разработки, продвижения и развития подобных систем, включая и российские.

В части IT в свете национальных проектов по направлению 35.03.02, профиль «Инженерное дело», в учебном процессе наблюдается общая тенденция, изложенная выше для цифровых университетов с менее эффективными результатами в связи с отсутствием финансирования. Есть и достижения, определенные в основном пандемией и введенными ограничениями. В частности полный переход на LMS MOODLe – условно бесплатная система администрирования в большей части и в меньшей мере обучающая. Качество содержательной части в этой системе зависит от ППС. И если представление содержательной части не основано на авторских разработках, а на своего рода полуфабрикатах, чьих-то готовых решениях, то качество курса определится качеством этих полуфабрикатов (как не изощряйся, качество приготовленной еды зависит от качества полуфабрикатов).

Качественный курс – это аналог качественного художественного фильма. Известно, какие бюджеты необходимы для качественных фильмов, и известны безбюджетные онлайн- или оффлайн-курсы, созданные одним преподавателем. В этой связи востребованность таких курсов весьма редка. Вопросы качества виртуальной или дополненной реальности в онлайн- или оффлайн-обучении для профиля «Инженерное дело в лесопромышленном комплексе» здесь не обсуждаются в связи с отсутствием финансирования.

Следует отметить избыточное продвижение систем искусственного интеллекта в бытовой сфере. В специализированных секторах экономики, при распознавании образов и др. это необходимо для повышения эффективности. Но в бытовой сфере говорящие Алисы, Гуглы и пр. явно вредны. При этих говорящих исчезает важнейшая составляющая: опыт – сын ошибок, останавливается развитие. Они сами по себе не совершают ошибок, точнее, не оценивают, а была ли ошибка. Искусственный интеллект пока обобщает мышление и опыт человечества, что совместно с высочайшим быстродействием ведет к внешнему преимуществу ИИ над отдельным мыслящим белковым телом. Интуитивно у многих вызывает отторжение использование подобных средств. Нам в зрелом возрасте пытаются навязать родителей, от которых мы отошли, встав на самостоятельный путь. При замене и ограничении мышления человека искусственным интеллектом исчезает массовость освоения людьми компетенций, наработанных человечеством, и к чему это приведет, пока неясно. Поэтому в этой сфере возникает задача определения границ того, что оставить искусственному интеллекту.

Основной вывод

Имеет место избыточность вложений в администрирующие и контролирующие функции цифровой экономики. Избыточно увлечение сомнительными в части массового применения в области естественных функций мышления и с позиций его развития проектами типа «искусственный интеллект». В то же время для всех национальных проектов нет механизма отбора и поддержки инициативных содержательно-предметных проектов снизу, а чиновники, управляющие этими проектами, данные инициативы не видят в должной мере. И, как следствие, качественная содержательная, инновационная часть не получает необходимой поддержки в рамках национальных проектов. Рекомендуется смещение акцентов на поддержку творческой составляющей в сфере образования и науки, в том числе в области лесопромышленного комплекса.

Библиографический список

1. Якимович, С. Б., Быковский М. А., Якимович С. С. Информационное обеспечение в лесном комплексе : учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург, 2018. – 206 с. : ил. – URL : <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/8397>
2. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика РФ». – URL : <http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M5cNLo6gczMkPF.pdf>
3. Особенности модели Цифрового университета УрФУ. – URL : https://urfu.ru/fileadmin/user_upload/common_files/about/digital/msc/Cifrovaja_model_UrFU_230120.pdf
4. Университет 4.0. Модель Цифрового Университета. – URL : https://alu.spbu.ru/files/2020/20200124_konf/fadeev.pdf
5. Якимович С. Б. Постановка и решение задачи синтеза и оптимального управления технологическими процессами лесозаготовок // Лесн. вестник. – 2003. – № 5. – С. 96–103.

ДРЕВЕСНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

WOOD COMPOSITE MATERIALS

УДК 674.81

В. В. Глухих, А. Е. Шкуро
(V. V. Glukhikh, A. E. Shkuro)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) gluhihvv@m.usfeu.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ

PRODUCTION OF WOOD COMPOSITES TO REDUCE THE HARMFUL ENVIRONMENTAL IMPACT OF SOLID WASTE

Одним из эффективных направлений решения мировой проблемы обезвреживания твёрдых промышленных и бытовых пластиковых отходов и отходов растительного происхождения является их использование в качестве сырья для производства полимерных композиционных материалов. Результаты научных исследований Уральского государственного лесотехнического университета показывают возможность и перспективу использования некоторых промышленных отходов деревообрабатывающей промышленности в качестве наполнителей для производства полимерных композиционных материалов с необходимыми потребительскими свойствами. Древесные композиционные материалы с биоразлагаемыми полимерами могут найти применение для производства изделий с требуемой динамикой изменения их физико-механических свойств и биоразложения при эксплуатации их в грунте.

One of the effective ways to solve the global problem of neutralization of solid industrial and household plastic waste and waste of plant origin is their use as raw materials for the production of polymer composite materials. The results of scientific research of the Ural State Forestry Engineering University show the possibility and prospects of using some industrial waste from the woodworking industry as fillers for the production of polymer composite materials with the necessary consumer properties. Wood composite materials with biodegradable polymers can be used for the production of products with the required dynamics of changes in their physical and mechanical properties and biodegradation during their operation in the ground.

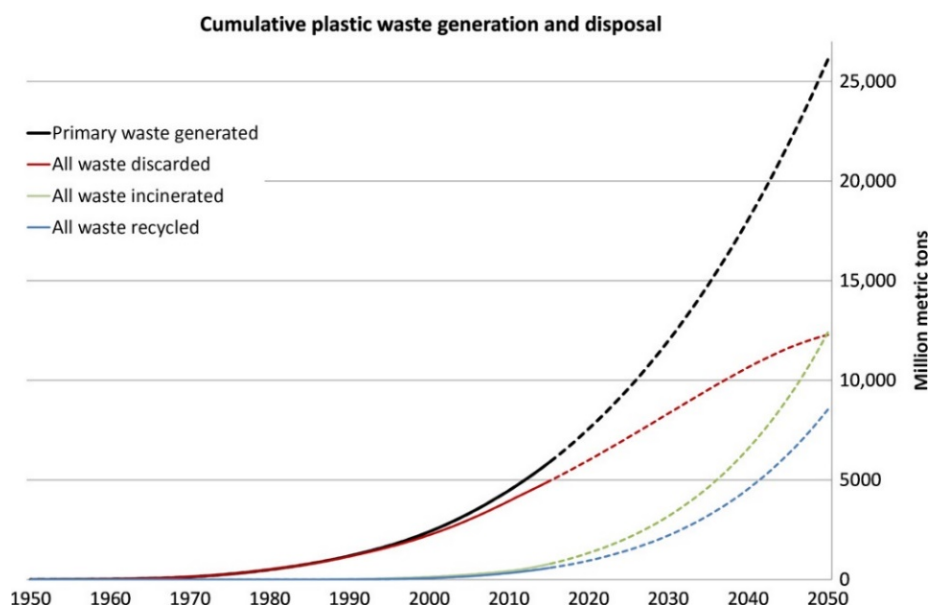
Во всём мире существует проблема накопления и обезвреживания твёрдых бытовых и промышленных отходов, включая пластиковые отходы. Сжигание таких отходов приводит к образованию углекислого газа, имеющего парниковый эффект и негативно влияющего на климат Земли. Особую озабоченность многих стран вызывает большой рост накопления пластиковых отходов.

Мировое производство полимерной продукции ежегодно постоянно увеличивается, и при этом значительно возрастает количество отходов её производства и потребления (рисунки).

В настоящее время считается, что из всех производимых пластиков в мире:

- сжигаются – около 10 %;
- перерабатываются – чуть более 10 %;
- накапливаются на свалках или засоряют наземные и водные среды – около 80 %.

Одним из направлений борьбы с пластиковыми отходами является их вовлечение в производство продукции, востребованной на рынке. Наиболее перспективными для повторной переработки являются термопластичные синтетические полимеры, такие как полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилентерефталат (ПЭТФ). Эти полимеры в большом масштабе получают из невозобновляемого сырья (нефти и природного газа). В связи с уменьшением запасов нефти и повышением её стоимости цены на синтетические полимеры увеличиваются, и использование их отходов для производства полимерных материалов и изделий становится экономически выгодным.



Совокупное образование и утилизация пластиковых отходов, млн т [1]:
сплошные линии показывают исторические данные с 1950 по 2015 гг.;
пунктирные линии показывают прогнозы исторических тенденций до 2050 г.

Количество твёрдых растительных отходов лесного и аграрного хозяйств огромно, они тоже обезвреживаются путём их сжигания.

Как показывает мировая практика [2], одним из эффективных методов утилизации твёрдых полимерных и растительных отходов является их использование в качестве сырья для производства полимерных композитов (экокомпозитов). Важное достоинство технологий получения композитов с термопластичными полимерами и наполнителями растительного происхождения – возврат в производство технологических отходов и бракованной продукции, а также многократная переработка аналогичной продукции после её эксплуатации.

Достоинства и недостатки, прогресс и проблемы производства композитов с переработанными отходами термопластичных полимеров (вторичными полимерами) и наполнителями растительного происхождения подробно представлены в обзоре Nassar M. M. A. с коллегами [2].

В Уральском государственном лесотехническом университете на кафедре технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, в научно-образовательном центре полимерных материалов проводятся систематические научные исследования по разработке технологий получения биостойких и биоразлагаемых композитов с первичными и вторичными термопластичными полимерами, наполняемыми лигноцеллюлозными отходами деревообработки, аграрного, лесного и садово-паркового хозяйств.

Основной целью этих научных исследований является определение закономерностей влияния химического строения и состава всех компонентов на физические и механические свойства композитов, скорость их биоразложения в грунте, технологичность получения из них материалов и изделий методами компрессионного прессования, экструзии, вальцевания и литья под давлением.

Из термопластичных первичных и вторичных синтетических полимеров мы исследовали в составе композитов широко применяемые в различных отраслях народного хозяйства полиэтилен, полипропилен и их сополимеры, поливинилхлорид; из природных полимеров – производные целлюлозы; из технологических добавок – пластификаторы, компатибилизаторы, смазывающие вещества, биоциды, антипирены.

В наших работах по этому направлению объектами исследований в качестве наполнителей из отходов деревообработки и лесного хозяйства являются опилки хвойных и лиственных пород древесины, древесная пыль, образующаяся в производствах древесных плит и фанеры из шпона различных пород древесины при шлифовании поверхности этих композиционных материалов, древесная кора, скорлупа лесных орехов; из отходов аграрного хозяйства – оболочки семян (шелуха) злаковых культур; садово-паркового хозяйства – собираемые опавшие листья и скошенная трава.

Результаты выполненных нами лабораторных исследований показали, что при замене в составе древесно-полимерного композита (ДПКт) с первичным полиэтиленом низкого давления марки ПЭНД 273-83 (50 мас. %) хвойной древесной муки марки 180 (ДМ) на древесную шлифовальную пыль производства фанеры (ДПф) и древесностружечных плит (РПдсп) большинство показателей свойств композитов, полученных компрессионным прессованием, не ухудшаются (табл. 1). Композит с древесной шлифовальной пылью производства фанеры превосходит композит с мукой хвойных пород древесины по прочностным показателям, ударной вязкости и водостойкости.

Таблица 1

Физико-механические свойства ДПКт

Показатели свойств композита	Наполнитель (50 мас. %)		
	ДМ	Пф	Пдсп
Плотность, кг/м ³	1062	1104	1047
Предел прочности при растяжении, МПа	11,9	15,2	12,0
Предел прочности при изгибе, МПа	23,3	35,9	22,3
Контактный модуль упругости, МПа	785	538	949
Относительное удлинение, %	2	3	4
Твердость при вдавливании шарика, МПа	85	56	75
Ударная вязкость, кДж/м ² :			
без надреза	4,8	6,7	3,4
с надрезом	4,2	5,8	3,4
Водопоглощение за 24 ч, %	5,6	3,8	4,9

Композиты с первичным полиэтиленом низкого давления марки ПЭНД 273-83 и мукой коры сосны (30 мас. %), полученные компрессионным прессованием при составе компонентов, приведённых в табл. 2, продемонстрировали хорошие показатели твёрдости, упругости и ударной вязкости (табл. 3).

Вторым направлением наших исследований по промышленному использованию твёрдых отходов растительного происхождения является разработка технологий получения биоразлагаемых полимерных композиционных материалов и изделий на их основе.

Таблица 2

Состав композитов с первичным полиэтиленом

Компонент композита	Содержание компонента в образце композита, мас. %				
	1	2	3	4	5
Полиэтилен марки ПЭНД-273-83	67,75	67,75	67,75	67,75	67,75
Хвойная древесная мука марки 180	30,00	27,00	24,00	15,00	0,00
Мука коры сосны	0,00	3,00	6,00	15,00	30,00
Смазывающие вещества	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Компатибилизатор	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Таблица 3

Физико-механические свойства образцов ДПКт с ПЭНД-273-83

Свойства композита	Номер образца композита				
	1	2	3	4	5
Прочность при изгибе, МПа	47,3	28,9	30,9	34	31,2
Твёрдость при вдавливании шарика, МПа	70,7	51,6	37,2	60,5	119,6
Число упругости, %	69,3	71,3	74,5	75,5	92,1
Ударная вязкость, кДж/м ²	8,3	6,00	7,30	7,06	8,76
Ударная вязкость с надрезом, кДж/м ²	8,3	7,3	8,1	9,9	8,2
Прочность при растяжении, МПа	20,1	6,4	10	11	12,3
Относительное удлинение, %	0,5	8,4	12,6	15,2	16,0
Прочность при изгибе, МПа	58,0	28,9	30,9	34,0	31,2
Водопоглощение за 24 ч, мас. %	1,1	0,7	0,4	0,7	1,5
Водопоглощение за трое суток, мас. %	1,0	2,6	0,9	1,1	1,9
Водопоглощение за неделю, мас. %	1,5	4,0	1,5	1,8	4,0

В работах по второму направлению объектами исследований в качестве наполнителей, помимо отходов деревообработки, являются отходы аграрного и садово-паркового хозяйств: оболочки семян (шелуха) злаковых культур, собираемые опавшие листья и скошенная трава. В качестве полимерной матрицы для получения биоразлагаемых полимерных композиционных материалов мы исследуем биоразлагаемые полимеры (целлюлозу, лигнин, полилактид) и их производные.

Так, например, для исследования влияния содержания древесной муки марки 300 на физико-механические свойства наполненного полилактида была получена компрессионным прессованием серия образцов композиционных материалов в соответствии с рецептурами компонентов, представленными в табл. 4.

Таблица 4

Состав композитов с полилактидом

Компонент композита	Содержание компонента в образце композита, мас. %				
	1	2	3	4	5
Полилактид	98,5	78,5	68,5	58,5	48,5
Древесная мука марки 300	0,0	20,00	30,00	40,00	50,00
Смазывающие вещества	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Оценка способности образцов пластифицированного полилактида к биоразложению производилась по величине потери его массы после выдержки в активном грунте.

При увеличении степени наполнения полилактида древесной мукой марки 300 до 40–50 % наблюдается рост следующих показателей физико-механических свойств композита: прочность при изгибе, твердость, модуль упругости. Также наблюдается увеличение показателей водопоглощения за 24 ч и 30 сут, что положительно влияет на скорость биоразложения композитов в грунте.

На основании анализа полученных регрессионных зависимостей от времени выдержки в грунте массы образцов полилактида, наполненных древесной мукой, был сделан прогноз о сроках 90%-ного разложения исследуемых материалов. Для наиболее склонных к биодegradации образцов, содержащих 40 и 50 мас. % древесной муки, сроки такого разложения предположительно составят 376 и 356 сут соответственно, что значительно меньше времени, требуемого на разложение в грунте ненаполненного полилактида. Высоконаполненные образцы полилактида сочетают в себе высокие показатели физико-механических свойств (в первую очередь твердости и жесткости) с высокой скоростью их биоразложения в грунте.

В заключение можно отметить, что результаты проведенных нами научных исследований показывают возможность и перспективу использования древесной шлифовальной пыли производства фанеры и древесностружечных плит, муки коры сосны в качестве наполнителей для производства полимерных композиционных материалов с необходимыми потребительскими свойствами. Древесные композиционные материалы с биоразлагаемыми полимерами могут найти применение для производства изделий с требуемой динамикой изменения их физико-механических свойств и биоразложения при эксплуатации их в грунте.

Библиографический список

1. Корпоративный сайт Dow.com. – URL: <https://corporate.dow.com/en-us/science-and-sustainability/plastic-waste.html> (дата обращения: 25.06.2021).
2. Nassar M. M. A., Alzebdeh K. I., Pervez T., Al-Hinai N., Munam A. J. Appl. Polym. Sci. 2021;e51284. [wileyonlinelibrary.com/journal/app](https://doi.org/10.1002/app.51284) © 2021 Wiley Periodicals LLC. 1 of 31 <https://doi.org/10.1002/app.51284>

УДК 674.81

А. С. Ершова, А. В. Артёмов, А. В. Савиновских, В. Г. Бурындин
(A. S. Ershova, A. V. Artyomov, A. V. Savinovskikh, B. G. Buryndin)
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) ershovaas@m.usfeu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАРБАМИДА НА БИОСТОЙКОСТЬ ПЛАСТИКА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ СОСНОВЫХ ОПИЛОК

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF UREA ON THE BIOSTABILITY OF PLASTIC WITHOUT A BINDER BASED ON PINE SAWDUST

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния препарата карбамида на биостойкость пластика без связующего (ПБС) на основе опилок сосны обыкновенной. Установлено, что использование карбамида в качестве модификатора пресс-сырья приводит к улучшению физико-механических свойств получаемого ПБС.

При экспозиции в почвогрунте за 90 сут у ПБС на основе модифицированного карбамидом пресс-сырья выявлены наименьшие внешние изменения, а также наименьшая потеря массы. По данным показателям можно судить об обладании повышенной биостойкостью модифицированных образцов ПБС.

The purpose of this study was to evaluate the effect of the urea preparation on the biostability of plastic without resins (PWR) based on sawdust of Ordinary pine. It is established that the use of urea as a modifier of press raw materials leads to an improvement in the physical and mechanical properties of the obtained PWR. When exposed in the soil for 90 days in PWR on the basis of urea-modified press raw materials, the smallest external changes were revealed, as well as the smallest mass loss. According to these indicators, it is possible to judge the possession of increased biostability of modified PWR samples.

По мнению ряда авторов [1], модификация древесины карбамидом (торговое название мочевины) связана прежде всего с поликонденсационными процессами карбамида, лигнина и определенной легкодоступной фракции гемицеллюлоз. В принципе взаимодействие может протекать не только с участием карбоксильных и гидроксильных групп лигнина, но и полисахаридов.

При конденсации между лигнином и карбамидом происходит реакция за счет карбонильных групп. Экспериментально доказано, что количество гидроксильных групп уменьшается с 5,6 до 3,15 %.

После обработки древесины карбамидом значительно изменяется ее состав. Увеличивается количество золы, веществ, растворимых в горячей и холодной воде и спиртобензольной смеси. Уменьшается содержание пентозанов, а также трудно- и легко-гидролизруемых полисахаридов.

При химическом взаимодействии с компонентами древесины происходит связывание 3,5 % карбамида и продуктов его термического разложения. Термообработка способствует взаимодействию карбамида как с целлюлозой, так и с лигнином.

В условиях герметичности в присутствии воды и при температуре 130–140 °С карбамид разлагается на аммиак и углекислый газ. Углекислый газ в тех же условиях может образовывать уксусную кислоту, которая способствует ускорению процесса гидролитического расщепления древесины.

Карбамид оказывает на древесину не только пластифицирующее действие, но и антисептическое. При концентрации мочевины 1 % и выше заметно снижается распространение синей гнили [1].

На основе вышесказанного в данной работе была поставлена цель – исследование биостойкости по отношению к почвогрунту пластика без связующего (ПБС), полученного на основе модифицированных карбамидом сосновых опилок.

Для выполнения исследования были изготовлены образцы диаметром 40 мм и толщиной 2 мм. В качестве наполнителя для получения ПБС были использованы сосновые опилки с фракционным составом 0,7–1,2 мм и абсолютной влажностью 6 %. Расход карбамида принимался 9 % (по а.с.в.) [2].

Изготовление образцов осуществлялось методом плоского горячего прессования в герметичной пресс-форме при постоянных значениях параметров прессования: давлении 35 МПа, температуре 180 °С.

После кондиционирования проводилось определение физико-механических свойств по утвержденным методикам.

В таблице представлены данные по физико-механическим свойствам ПБС на основе пресс-материала, подверженного модификации карбамидом. Параллельно были определены физико-механические свойства у образцов, не подвергнутых модификации (контроль).

Физико-механические свойства ПБС

Физико-механические свойства	ПБС	
	Сосновые опилки (контроль)	Сосновые опилки + карбамид
Плотность, кг/м ³	1020	1110
Модуль упругости при изгибе, МПа	2860	3620
Твердость, МПа	22	24
Водопоглощение за 24 ч, %	68	52
Разбухание по толщине за 24 ч, %	7,6	7,2

Оценка биостойкости материалов на основе ПБС проводилась по изменению массы образцов при экспозиции их в почвогрунте [3]. В качестве почвогрунта был принят грунт для рассады (ТУ 0392-001-59264059-03).

Время выдержки образцов в грунте при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) и средней влажности грунта 40 % составило 90 сут (7, 14, 21, 30, 60, 90 сут).

На рисунке представлена зависимость изменение потери массы образцами ПБС при экспозиции в почвогрунте в течение 90 сут.

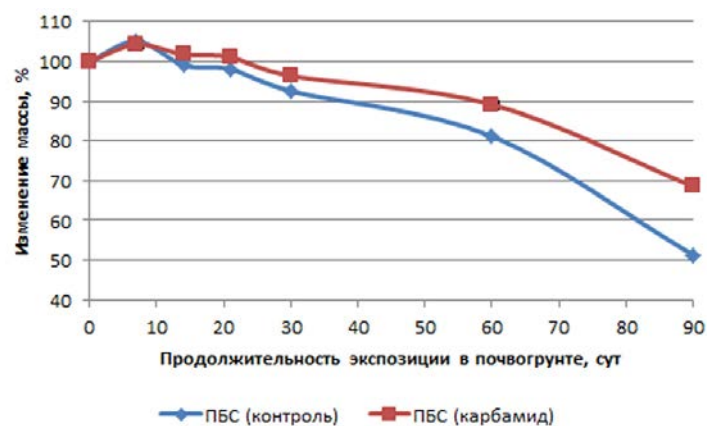


График зависимости потери массы образцами ПБС после 90 сут выдержки в почвогрунте

Использование карбамида в качестве модификатора исходного пресс-сырья в виде сосновых опилок позволяет получать ПБС с более высокими физико-механическими свойствами. Кроме того, в процессе модификации карбамидом образцы ПБС приобретают повышенную биостойкость по отношению к почвогрунту.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

Библиографический список

1. Химические превращения целлюлозы в составе растительного сырья / Н. Г. Базарнова, В. И. Маркин, Е. В. Калюта [и др.] // Химия растительного сырья. – 2005. – № 3. – С. 75–84.
2. Исследование физико-механических свойств древесных пластиков, полученных методом экструзии / А. В. Артемов, В. Г. Бурындин, В. В. Глухих, В. Г. Дедюхин // Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. жур. – 2009. – № 6. – С. 101–106.
3. Plastics: physical-and-mechanical properties and biodegradable potential / V. Glukhikh, P. Buryndin, A. Artyemov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2020. – Vol. 8. – No 1. – P. 149–154. – DOI 10.21603/2308-4057-2020-1-149-154.

УДК 678

П. С. Захаров, Д. Д. Чирков, А. Е. Шкуро, В. В. Глухих
(P. S. Zakharov, D. D. Chirkov, A. E. Shkuro, V. V. Glukhikh)
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) zazaver@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТА «УЛТАН» НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ

EVALUATION OF «ULTAN» INFLUENCE ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD-COMPOSITE MATERIALS WITH A POLYNYLCHLORIDE MATRIX

Целью настоящего исследования являлась оценка влияния препарата «Ултан» на физико-механические свойства древесно-композиционных материалов с поливинилхлоридной полимерной матрицей. Установлено, что использование в качестве наполнителя ДКМ с поливинилхлоридной полимерной матрицей древесной муки, пропитанной препаратом «Ултан», приводит к снижению твердости и жесткости материала пропорционально увеличению расхода препарата «Ултан». Водопоглощение характеризуется экстремальной зависимостью от расхода препарата «Ултан».

The purpose of this study was to assess the effect of Ultan on the physical and mechanical properties of wood-composite materials with a polyvinylchloride polymer matrix. It was found that the use of wood flour impregnated with Ultan as a filler for WCM with a polyvinyl chloride polymer matrix leads to a decrease in the hardness and rigidity of the material in proportion to an increase in the consumption of Ultan. The dependence of water absorption on the consumption of the Ultana preparation is characterized by an extreme dependence.

Одним из главных недостатков строительных материалов из древесины и композиционных материалов на ее основе (ДКМ) является склонность к биодеструкции. Особую роль в процессе биодеструкции древесных строительных материалов играют грибы, которые легко адаптируются к окружающей среде и обладают высокой изменчивостью. С ростом грибов на поверхности материала образуются гифы (нитевидные образования), которые поглощают воду и питательные вещества из древесины и выделяют продукты обмена, катализирующие дальнейшее разложение. При этом древесина коробится, приобретает серый или коричневый цвет и покрывается трещинами. Кроме того, наблюдается снижение прочностных показателей и увеличение водопоглощения материала, способствующего последующему поражению грибом [1]. В соответствии со скоростью биоразложение древесины подразделяется на следующие виды: быстрое (острое) и медленное (хроническое). Сначала грибы поражают деревянные конструкции, контактирующие с водой или почвой (наземные и подземные конструкции фундаментов, столбы, нижние венцы деревянных домов и т. д.) [1]. Биодеструкция древесины происходит довольно медленно, если древесина контактирует с атмосферой (стены домов, крыши, настилы, полы и т. д.). При правильном процессе технического обслуживания и отсутствии конструктивных ошибок биологические повреждения накапливаются очень медленно и деревянные конструкции сохраняют свои эксплуатационные характеристики, а также внешний вид на протяжении десятилетий [2].

Для защиты древесины от биодеструкции в основном используются покрытия и пропитки, обладающие комбинированным действием (антисептики и антипирены) [3]. Как правило, антисептики различаются по растворимости в воде и маслах,

по вымываемости из материала и по действующему веществу (рис. 1). К наиболее распространенным антисептикам относятся антисептики группы ССА. Антисептики группы ССА содержат соединения трех элементов: хрома (Cr), меди (Cu) и мышьяка (As). Соотношения компонентов, их форм и количеств очень разнообразны. Основным биоцидным компонентом антисептиков этой группы является пентавалентный мышьяк. Среди антисептиков группы ССА высокой эффективностью выделяется препарат «Ултан».

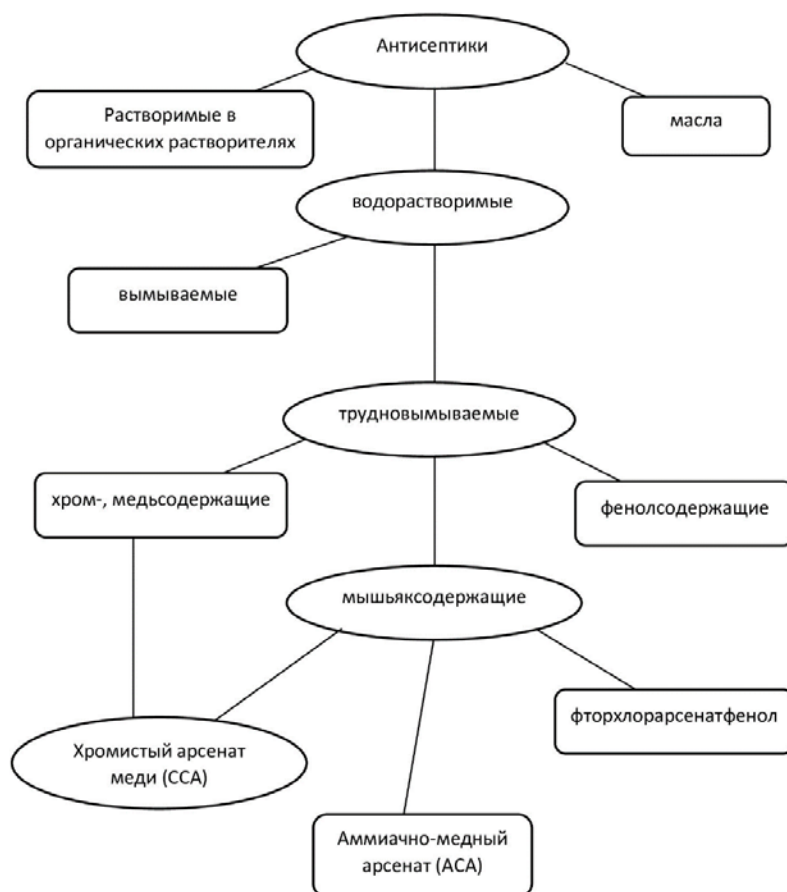


Рис. 1. Классификация антисептиков, используемых для защиты древесины

Ултан – это средство биозащиты древесины, разработанное в Уральском лесотехническом институте. Каждый компонент препарата «Ултан» выполняет определенную задачу: медь – фунгицид, препятствует росту грибов и плесени, мышьяк – инсектицид, не позволяет грызунам, насекомым, термитам разрушать древесину, хром – фиксатор, препятствует вымыванию активных компонентов из древесины. Ултан дешевле своих импортных аналогов за счет того, что производится в России, в Свердловской области. Применение нашел сразу же на сооружениях в оранжереях Ботанического сада в Екатеринбурге. Антисептик продлевает срок службы деревянных конструкций на 35–50 лет даже в экстремальных условиях. Пропитка Ултаном также защищает материал от действия влаги. Испытания, проведенные в 1987 г. Уральской государственной сельскохозяйственной академией, показали, что через год эксплуатации влажность пропитанной антисептиком древесины составила 25–45 %, тогда как непропитанной – 60–65 %. В состав антисептика Ултан входят соединения шестивалентного хрома в виде бихроматов натрия (калия) – $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \cdot (\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ и пентавалентного мышьяка

в виде мышьяковой кислоты – H_3AsO_4 . При этом все его составляющие компоненты находятся в растворенном состоянии. При введении в древесину данного антисептика происходит активная реакция с веществами древесины, в результате которой через 8 ч при температуре 15–20 °С образуются нерастворимые в воде соединения арсенатов меди и трехвалентного хрома [4].

Эффективность использования препарата «Ултан» для повышения бисотойкости стройматериалов из древесины не вызывает сомнений. Однако целесообразность его применения в ДКМ на основе синтетических термопластов требует уточнения, так как взаимодействие солей хрома, меди и мышьяка с неполярной полимерной матрицей недостаточно изучено. Целью настоящего исследования являлась оценка влияния препарата «Ултан» на физико-механические свойства древесно-композиционных материалов с поливинилхлоридной полимерной матрицей.

В качестве матрицы в изготовлении образцов использовали ПВХ СИ-67, в качестве наполнителя – древесную муку марки «300», предоставленную ООО «Древесная мука» (г. Волжск). В качестве пластификатора применялся дибутилфталат (ДБФ, ГОСТ 8728-88), в качестве лубриканта – полиэтиленовый воск марки ПВ-200. Для проведения испытаний использовались композиты постоянного состава: ПВХ – 40,5 мас. %, ПВ-200 – 1,5 мас. %, ДБФ – 8 мас. %, ДМ 300 – 50 мас. %. Опыты различались расходом препарата «Ултан» при пропитке наполнителя (древесной муки). Расход препарата «Ултан» варьировался от 0 до 10 мас. % от массы наполнителя. Смешение композитов осуществлялось на одношнековом лабораторном экструдере при температуре 170–180 °С. Стандартные образцы для испытаний изготавливались методом прямого прессования. Для полученных ДКМ были определены следующие показатели: твердость по Бринеллю, модуль упругости при сжатии и водопоглощение за 7 сут. Результаты испытаний показаны на рис. 2–4.

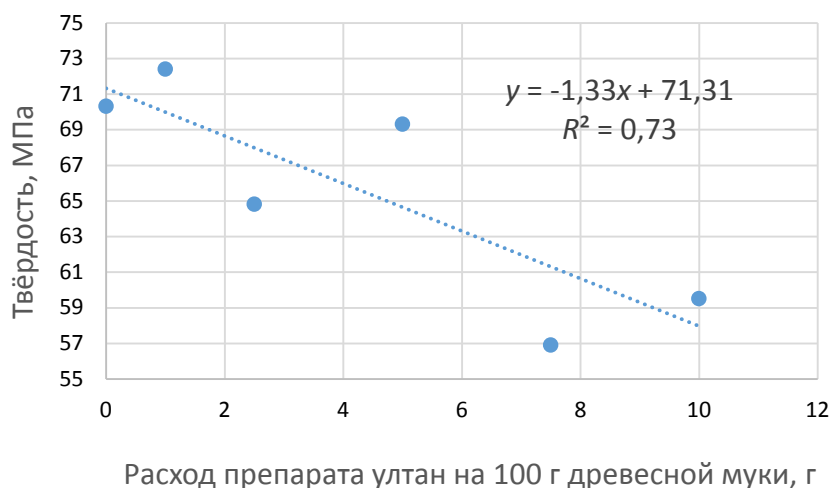


Рис. 2. График зависимости показателя твердости от расхода препарата «Ултан»

Показатели твердости и жесткости снижаются при увеличении расхода препарата «Ултан», что можно объяснить ухудшением межфазного взаимодействия полимерной матрицы и модифицированного Ултаном наполнителя. Соли хрома, меди и мышьяка являются высокополярными соединениями с ионными связями между входящими в их состав атомами. Концентрируясь на поверхности частиц древесной муки, эти соли препятствуют взаимодействию неполярных макромолекул поливинилхлорида с лигнином и целлюлозой.

Зависимость показателя водопоглощения за 7 сут от расхода препарата «Ултан» носит экстремальный характер и описывается уравнением $y = -0,56x^2 + 6,26x + 3,64$ ($R^2 = 0,96$). Наибольшего значения достигает при расходе препарата 5,4 г. В небольшом количестве препарат делает материал более гидрофильным, с увеличением содержания Ултана наблюдается снижение водопоглощения, сшивание наполнителя, фиксирующего действия хрома.

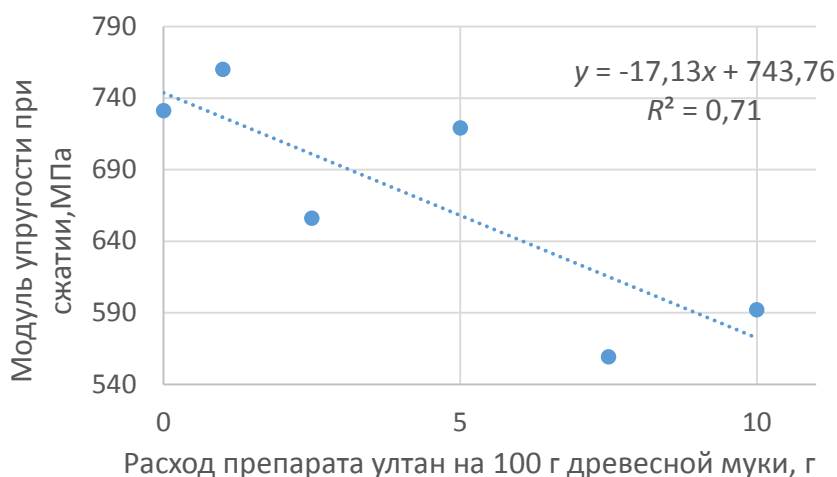


Рис. 3. График зависимости показателя модуля упругости при сжатии от расхода препарата «Ултан»

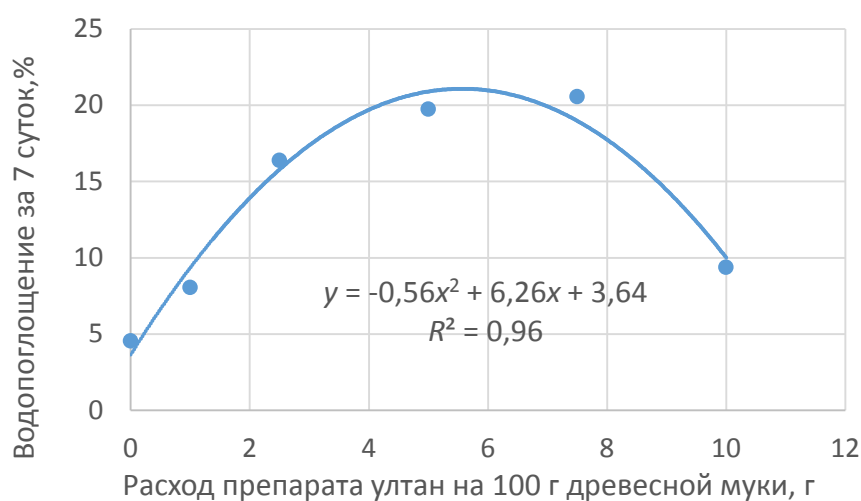


Рис. 4. График зависимости водопоглощения от расхода препарата «Ултан»

Полученные в результате исследования данные свидетельствуют о том, что использование в качестве наполнителя ДПК с поливинилхлоридной полимерной матрицей древесной муки марки 300, пропитанной препаратом «Ултан», приводит к снижению таких показателей свойств материала, как твердость и жесткость, пропорционально расходу препарата. Зависимость водопоглощения от расхода препарата «Ултан» характеризуется более сложной экстремальной зависимостью. Целесообразным представляется применение препарата «Ултан» в ДКМ с поливинилхлоридными матрицами в небольшом количестве, не приводящее к значительному снижению эксплуатационных свойств материала.

Библиографический список

1. Friedrich D. Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC) : A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique // Composite Structures. – 2021. – V. 262.
2. ГОСТ 20022.7–82. Защита древесины. Автоклавная пропитка водорастворимыми защитными средствами под давлением. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.
3. Стенина Е. И., Левинский Ю. Б. Защита древесины и деревянных конструкций. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2007. – 219 с.

УДК 674.81

А. А. Мамаева, А. В. Савиновских, А. В. Артёмов, П. С. Кривоногов
(A. A. Mamaeva, A. V. Savinovskikh, A. V. Artyomov, P. S. Krivonogov)
 (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) savinovskihav@m.usfeu.ru

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТИКА БЕЗ СВЯЗУЮЩЕГО НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ СОСНЫ СИБИРСКОЙ

OBTAINING AND STUDYING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTIC WITHOUT RESINS BASED ON PLANT RESIDUES OF SIBERIAN PINE

В результате выполненного исследования методом прессования в закрытых пресс-формах в лабораторных условиях был получен пластик без добавления связующих (ПБС) на основе сосны сибирской, оценены его физико-механические свойства. Найдены регрессионные зависимости свойств пластика от температуры прессования и влажности пресс-сырья.

As a result of the performed research by pressing in closed molds in laboratory conditions, plastic was obtained without resins (PWR) based on Siberian pine, its physical and mechanical properties were evaluated. Regression dependences of plastic properties depending on the pressing temperature and humidity of the press raw materials are found.

Сосна сибирская (сосна сибирская кедровая) является уникальным биологическим видом, который ценится за высокие технические свойства древесины. Данный вид сосны в естественных условиях произрастает в России и частично в Монголии. Границы ареала простираются с севера на юг на 2700 км и с запада на восток на 4500 км [1].

На территории Свердловской области насаждения с участием сосны сибирской занимают порядка 3,5 млн га, что составляет 22 % лесного фонда [2].

Из обводненной кавитированной древесины сибирской лиственницы, сосны обыкновенной и сибирской кедровой сосны (содержание сухого вещества 20 %, в отсутствие усиливающего компонента) после зонного формования с небольшим усилием 0,15 МПа и сушки при 80 °С до остаточной влажности 8–15 % получены образцы древесных плитных материалов без добавления синтетических связующих [3]. Материалы характеризуются плотностью в интервале 322–383 кг/м³ и пределом прочности при сжатии 0,5–3,2 МПа. Предлагается данные материалы использовать в строительстве в качестве эффективного экологически безопасного утеплителя.

Целью данной работы являлось исследование возможности использования биомассы сосны сибирской (порубочных остатков) для получения пластика без связующего (ПБС) с удовлетворительными физико-механическими свойствами методом горячего прессования в закрытых пресс-формах [4].

Для исследования свойств ПБС, полученных на основе сосновых опилок, для предварительной оценки влияния одновременно изменяемых технологических факторов при получении данных пластиков в работе был проведен эксперимент по математическому плану Бокса–Уилсона.

Матрица планирования эксперимента представлена в табл.1.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Формализованные входные факторы		Натуральные значения факторов	
	X_1	X_2	Z_1	Z_2
1	1	-1	16	180
2	1	1	16	160
3	-1	-1	8	180
4	-1	1	8	160
5	0	1,47	12	185
6	0	-1,47	12	155
7	1,47	0	18	170
8	-1,47	0	6	170
9	0	0	12	170

Области изменения факторов:

- влажность пресс-сырья Z_1 – 6...18 %;
- температура прессования Z_2 – 155...185 °С.
- За выходные параметры были взяты следующие физико-механические свойства ПБС:

- $Y(P)$ – плотность, кг/м³;
- $Y(E)$ – модуль упругости при изгибе, МПа;
- $Y(II)$ – прочность при изгибе, МПа;
- $Y(T)$ – твердость по Бринеллю, МПа;
- $Y(U)$ – число упругости, %.

Значения физико-механических свойств полученных пластиков в зависимости от влажности пресс-сырья и температуры прессования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства ПБС на основе опилок кедр сибирского

№	$Y(P)$, кг/м ³	$Y(E)$, МПа	$Y(II)$, МПа	$Y(T)$, МПа	$Y(U)$, %
1	1114	1367	12,9	50,1	60
2	1078	1413	10	51,3	53
3	1084	1119	8,2	70,6	64
4	1159	1028	13	65,4	75
5	1086	1409	12,9	60,5	47
6	1160	1303	16,8	57,3	67
7	1059	1766	9	44,2	53
8	1173	1097	6,7	78,3	58
9	1079	1224	13,9	54,4	66

Для получения экспериментально-статистических моделей свойств пластиков на основе древесного опила средствами программы Microsoft Excel был проведен регрессионный анализ результатов эксперимента с вероятностной оценкой адекватности полученных моделей экспериментальным данным [5].

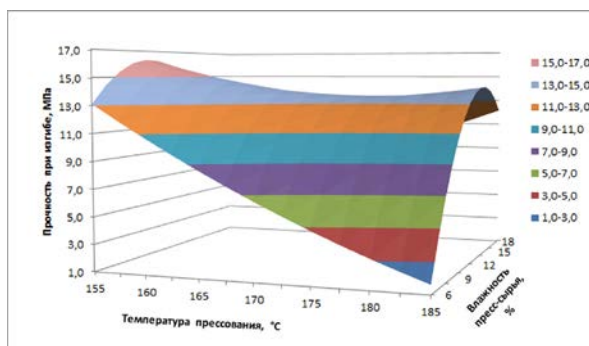
По итогу регрессионного анализа были получены следующие уравнения регрессии и коэффициенты их корреляции с экспериментальными данными:

$$\begin{aligned}
 - Y(P) &= 8375,942538 - 147,8266433Z_1 - 73,21901895Z_2 + 0,973322148Z_1Z_1 + \\
 &+ 0,185731544Z_2Z_2 + 0,69375Z_1Z_2 (R^2 = 0,87); \\
 - Y(E) &= 11594,81173 + 78,71972875Z_1 - 133,7563273Z_2 + 4,785896719Z_1Z_1 + \\
 &+ 0,430632364Z_2Z_2 - 0,855625Z_1Z_2 (R^2 = 0,86); \\
 - Y(II) &= 203,9659286 - 3,898459501Z_1 - 1,882129118Z_2 - 0,17213833Z_1Z_1 + \\
 &+ 0,0035668978Z_2Z_2 + 0,048125Z_1Z_2 (R^2 = 0,97); \\
 - Y(T) &= 587,8197 - 0,27351Z_1 - 6,18199Z_2 + 0,189644Z_1Z_1 + 0,019899Z_2Z_2 - \\
 &- 0,04Z_1Z_2 (R^2 = 0,98); \\
 - Y(V) &= -599,85 - 13,7261Z_1 + 9,269819Z_2 - 0,25193Z_1Z_1 - 0,03231Z_2Z_2 + \\
 &+ 0,110625Z_1Z_2 (R^2 = 0,69).
 \end{aligned}$$

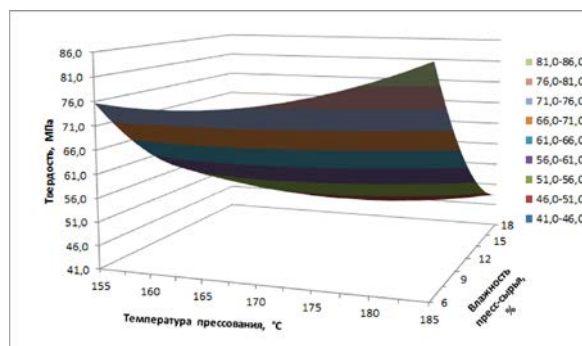
Высокие значения достоверности для параметров оптимизации (при $R^2 \geq 0,92$) дают основание для применения уравнений для описания изучаемых процессов влияния переменных факторов на параметры оптимизации:

- $Y(II)$ – прочности при изгибе, МПа;
- $Y(T)$ – твердости, МПа.

На основании адекватных уравнений регрессии были построены графические поверхности зависимостей (рисунок).



a



б

Зависимость физико-механических свойств ПБС на основе сосновых опилок от температуры прессования и влажности пресс-сырья:
a – прочность при изгибе, *б* – твердость по Бринеллю

По данным рисунка можно сделать следующие выводы.

1. Возможно получение ПБС на основе опилок из порубочных остатков сосны сибирской с удовлетворительными физико-механическими свойствами.

2. Прочность материала снижается при увеличении температуры прессования. Для получения ПБС с максимальными прочностными показателями в изучаемом интервале необходимо использовать температуру в пределах 155–160 °С в зависимости от исходной влажности сырья. При этом показатель твердость ПБС увеличивается при температуре ≥ 165 °С и влажности ≤ 18 %. При дальнейшем увеличении влажности твердость снижается.

3. Физико-механические свойства ПБС, полученного из пресс-сырья на основе опилок из порубочных остатков сосны сибирской, соответствуют свойствам ПБС на основе традиционного пресс-сырья сосны обыкновенной.

4. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».

Библиографический список

1. Братилова Н. П., Матвеева Р. Н., Буторова О. Ф. Биология и формовое разнообразие сосны кедровой сибирской // Эко-потенциал. – 2014. – № 1 (5). – С. 120–127.
2. Залесов С. В., Секерин Е. М., Платонов Е. П. Анализ распространения сосны кедровой сибирской по территории Свердловской области // Современ. проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 41–48.
3. Новые композиционные материалы на основе кавитированной древесины / А. Т. Телешев, К. И. Быков, М. П. Коротеев [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 443. – № 5. – С. 598.
4. Получение изделий прессованием в закрытых пресс-формах из фенопластов без добавления связующих / В. Г. Дедюхин, В. Г. Бурындин, Н. М. Мухин, А. В. Артемов // Изв. высш. учеб. заведений. Лесн. жур. – 2005. – № 3. – С. 90–94.
5. Глухих В. В. Прикладные и научные исследования: учебник. – Екатеринбург, 2016. – 239 с.

УДК 678

И. В. Тычинкин, О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих
(I. V. Tychinkin, O. F. Shishlov, V.V. Glukhikh)
(УГЛТУ, Екатеринбург) Ilya.ty4inkin@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ЛИГНИНА НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ ФЕНОЛЬНОЙ ПЕНЫ

INFLUENCE OF LIGNIN ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF PHENOLIC FOAM

В статье рассмотрено влияние лигнина на прочность фенольной пены при сжатии. Для определения прочности фенольной пены, модифицированной лигнином, при сжатии по сравнению со стандартной фенолформальдегидной смолой использовали универсальное испытательное устройство Inspekt table Blue 20.

The paper considers the effect of lignin on the strength of phenolic foam during compression. Universal testing device Inspekt table Blue 20 was used to determine the strength of the phenolic foam modified with lignin during compression, compared with the standard phenol-formaldehyde resin, a universal testing device Inspekt table Blue 20 was used.

Введение

Фенолоформальдегидные смолы получают в результате реакции поликонденсации между фенолом и формальдегидом. Фенольные пены уже несколько лет существуют на мировом рынке теплоизоляционных материалов, конкурируя с минеральной ватой, пенополистиролом и пенополиуретаном [1]. Фенольные пены с закрытыми порами обладают превосходными теплоизоляционными свойствами, а также являются

трудногорючим материалом, что позволяет использовать их в качестве теплоизоляционного материала при строительстве домов и зданий.

Несмотря на хорошие свойства и увеличивающийся спрос на фенольные пены в качестве изоляции, активно ведутся исследования по улучшению экологичности данного материала с использованием возобновляемых источников растительного сырья [2]. В качестве экологичного и возобновляемого источника для производства фенольной пены рассматривается лигнин.

Лигнин – один из трех основных компонентов растительного происхождения и самый распространенный ароматический биополимер.

В эксперименте был использован гидролизный лигнин, представляющий собой аморфный порошок со специфическим запахом, светло-кремового или темно-коричневого цвета, плотность которого – 1,21–1,44 г/см³. Молекулярная масса составляет от 5200 до 10 000 [3].

Методы и материалы

Для того чтобы оценить влияние лигнина на прочность при сжатии фенольной пены, была выбрана резольная фенолформальдегидная смола, которая используется в производстве вспененных композиционных материалов.

Основные характеристики резольной фенолформальдегидной смолы представлены ниже:

Условная вязкость при 25 °С, сПз	2000
Массовая доля щелочи, %	0,56
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	81,3
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,8
Массовая доля свободного фенола, %	2,0
Кислотность, рН	6,7–7,1

Лигнин вводили в процессе синтеза резольной фенолформальдегидной смолы в количестве 5 % от общей массы фенола при температуре около 100 °С и перемешивали до полного растворения лигнина в феноле. Затем смолу высушивали с помощью ротационного испарителя до необходимой вязкости. Полученная смола имела темно-коричневый цвет и специфический запах.

Для получения фенольной пены использовали резольную фенолформальдегидную смолу, вспенивающий агент и отвердитель. Все компоненты перемешивали в смесителе, а затем загружали в термостатированный ящик и выдерживали при температуре 80 °С в течение 30 мин. Готовый блок фенольной пены оставляли на сутки под вытяжной вентиляцией для устранения запаха и пост-отверждения.

Для изучения влияния лигнина на прочность при сжатии фенольной пены, готовый блок разрезали на 10 одинаковых кубиков с размерами 5×5×5 мм. Проведение испытаний прочности на сжатие проводили на универсальной испытательной машине Inspekt table Blue 20.

Машина имеет несколько квадратных или круглых прижимных пластин. Поверхность прижимной пластины не должна деформироваться под действием нагрузки. Размер прижимной пластины должен быть не менее 100 мм с одной стороны (или от общего диаметра). Одна из прижимных пластин представляет собой неподвижную пластину, а другая подвижную. Подвижная пластина может перемещаться с постоянной скоростью. Для точной регулировки образца имеется механизм, который может

непрерывно измерять расстояние перемещения подвижной пластины. Точность измерения должна составлять $\pm 5\%$, или $\pm 0,1$ мм, и, если последняя величина более точная, применяется последняя. Датчик индикатора нагрузки прикрепляется к одной из прижимных пластин и измеряется сила F , возникающая в результате деформации испытуемого образца. Кроме того, индикатор нагрузки непрерывно измеряет силу в любой момент во время испытания с точностью $\pm 1\%$.

Образцы фенольной пены перед испытанием на сжатие взвешивают, а затем поочередно устанавливают между двух пластин испытательной машины, регулируют расстояние между верхней пластиной и образцом. После регулировки необходимого расстояния запускают программу и по графику отслеживают изменение прочности образца. Как только максимальная прочность будет достигнута, программа фиксирует это значение, и после снижения этого значения верхняя пластина возвращается в исходное положение, что позволяет установить следующий образец, записать полученные данные и продолжить испытания.

В качестве сравнения изменения прочности при сжатии фенольной пены с лигнином был взят образец стандартной фенольной пены. Полученные результаты сравнения представлены ниже.

Стандартная фенольная пена	80,5
Фенольная пена с 5 % лигнина	89,8

Полученные данные свидетельствуют о том, что лигнин способен увеличить прочность на сжатие фенольной пены. Дальнейшие исследования будут направлены на увеличение содержания лигнина в смоле, чтобы более точно оценить влияние лигнина на прочность фенольной пены при сжатии.

Заключение

1. Проведены испытания по изучению влияния лигнина на прочность фенольной пены при сжатии с помощью универсального испытательного устройства Inspekt table Blue 20.

2. Установлено, что введение лигнина увеличивает прочность фенольной пены при сжатии.

Библиографический список

1. Londoño Zuluaga C., Du J., Chang H.-M., Jameel H. & Gonzalez R. W. (2018). Lignin Modifications and Perspectives towards Applications of Phenolic Foams : A Review. BioResources, 13(4). doi:10.15376/biores.13.4.londono_zuluaga
2. Zhuang X. W., Li S. H., Ma Y. F., Zhang W., Xu Y. Z., Wang C. P. & Chu F. X. (2011). Preparation and Characterization of Lignin-Phenolic Foam. Advanced Materials Research, 236–238, 1014–1018. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.236-238.1014
3. Шкуро А. Е., Кривоногов П. С. Исследование возможности получения древесно-полимерных композитов с гидролизным лигнином = Wood-polymer composites with the hydrolysis lignin // Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности: матер. VI Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности», 23–24 марта 2018 г. – Екатеринбург, 2018. – С. 73–78.

УДК 665.939.56

А. В. Шабалин¹, О. Ф. Шишлов¹, В. В. Глухих²
(A. V. Shabalin¹, O. F. Shishlov¹, V. V. Glukhikh²)

¹ПАО «Уралхимпласт», г. Нижний Тагил; ²УГЛТУ, г. Екатеринбург

ВЛИЯНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ЩЕЛОЧИ В СМОЛЕ СФЖ-3014 НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛЕЕВОЙ СИСТЕМЫ

INFLUENCE OF THE MASS FRACTION OF ALKALI IN THE RESIN SFJ-3014 ON THE CHARACTERISTICS OF THE ADHESIVE SYSTEM

В работе исследованы различия характеристик клеевых систем в процессе вызревания в зависимости от массовой доли щелочи в исходной смоле СФЖ-3014. На данных клеевых системах были изготовлены образцы фанеры и испытаны по показателю предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры после кипячения в воде в течение 1 ч.

The paper studies the differences in the characteristics of adhesive systems during aging, depending on the mass fraction of alkali in the initial resin SFJ-3014. Plywood samples were made on these adhesive systems and tested according to the indicator The ultimate strength when chipping along the adhesive layer of plywood after boiling in an ode for 1 hour.

Введение

Фанера – один из важных древесных композиционных материалов [1]. В настоящее время наблюдается увеличение объемов производства фанерной продукции. В основном это обусловлено потребностями в монолитном строительстве, судостроении, авиастроении. Предъявляемым данными отраслями требованиям соответствует фанера марки ФСФ. Основным видом связующего для производства фанеры с повышенной влажостойкостью являются фенолформальдегидные смолы.

Современные фанерные производства предъявляют жесткие требования к характеристикам связующих для сохранения стабильных показателей и качества выпускаемой продукции. Так как ГОСТ 20907-2016 позволяет выпускать смолы с широким диапазоном показателей, то каждый фанерный завод предъявляет свои требования к поставляемым смолам, которые зависят от используемого оборудования и применяемого клеевого рецепта. Показателями, на которые обращает внимание завод – изготовитель фанеры при выборе смолы для своего клеевого рецепта, являются следующие:

- массовая доля нелетучих веществ;
- условная вязкость;
- массовая доля щелочи.

В качестве объекта исследования нами был выбран показатель массовая доля щелочи. Основанием выбора является тот факт, что влияние данного показателя на свойства клеевых систем и физико-механические характеристики готового изделия недостаточно исследовано.

Технология приготовления и вызревания клея в условиях производства

В промышленности применяются различные технологии приготовления клея [2]. Наиболее распространенной является технология, включающая:

- смеситель, оснащенный автоматической системой загрузки компонентов по весу;

– емкость вызревания, оснащенная мешалкой, змеевиком или рубашкой для поддержания стабильной температуры клея (20–24 °С) и циркуляционной петель.

При приготовлении клея в смеситель загружается часть смолы ($\approx 30\text{--}50\%$), далее загружаются сухие компоненты (мел, мука) и интенсивно перемешиваются в течение 5–7 мин. После первого перемешивания в смеситель загружают оставшуюся часть смолы и воду. После повторного перемешивания (10–20 мин) клей перекачивается в емкость вызревания. Таким образом, цикл приготовления порции клея занимает 30–40 мин. В емкости вызревания клей находится в среднем 2–6 ч. За этот период мука набухает и увеличивает вязкость клея. Каждые 30–40 мин в емкость вызревания перекачивается свежая порция клея. Таким образом на непрерывных производствах обеспечивается поддержание стабильной вязкости клея (120–140 с по вискозиметру ВЗ-4).

Проведение эксперимента

Для проведения эксперимента были изготовлены 4 образца смолы СФЖ-3014, различающиеся по показателю массовая доля щелочи, %, с шагом 0,5 % (табл. 1).

Таблица 1

Показатели готовой смолы

Смола	Вязкость по ВЗ-4, с	М.д. щелочи, %	Сухой остаток, %	М.д. св. фенола, %	М.д. св. форма, %
оп. № 1	85	6,0	50	0,03	0,02
оп. № 2	84	6,6	50	0,01	0,03
оп. № 3	83	7,0	50	0,02	0,02
оп. № 4	78	7,5	50	0,03	0,01

В качестве наполнителей взяты: мел ММС-2, мука ржаная обдирная хлебопекарная, вода (табл. 2).

Таблица 2

Клеевой рецепт

Компоненты	Масса, в.ч.
Смола	100,00
Мука	5,08
Мел	9,08
Вода	13,08
Итого	127,23

Порядок приготовления клея

В стакан насыпают рецептурное количество муки и мела, перемешивают. Добавляют 30 % смолы, вручную тщательно перемешивают. Добавляют оставшуюся часть смолы и воду. Получившуюся смесь перемешивают при скорости мешалки 800 об/мин в течение 10 мин.

В табл. 3 и на рис. 1 приведены показатели изменения вязкости клея в процессе вызревания.

Таблица 3

Вязкость клея в процессе вызревания:

Смола	Вязкость смолы при 20 °С, с	Вязкость клея по ВЗ-4 при фактической температуре 27–29 °С, с				
		после приготовления	ч/з 1 ч	ч/з 2 ч	ч/з 4 ч	ч/з 6 ч
оп. № 1	85	59	75	83	102	119
оп. № 2	84	58	73	79	95	111
оп. № 3	83	55	66	75	91	107
оп. № 4	78	52	61	69	80	98

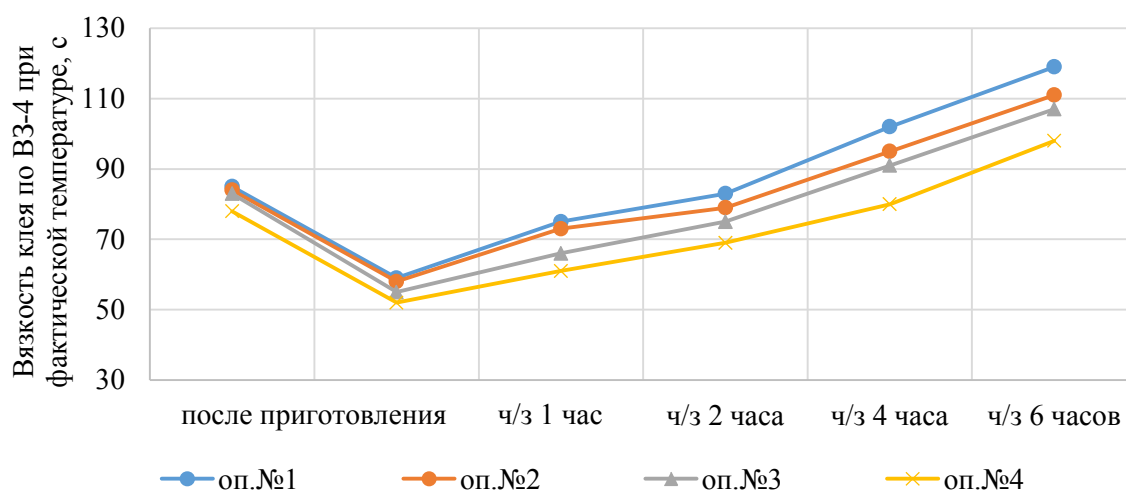


Рис. 1. Изменение вязкости клея в процессе вызревания

Для изготовления фанеры клей отбирался после двух часов вызревания.

В табл. 4 и на рис. 2 показан предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч.

Таблица 4

Предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч, МПа

Смола	1 параллель	2 параллель	Среднее
оп. № 1	1,69	1,70	1,70
оп. № 2	1,68	1,73	1,71
оп. № 3	1,72	1,73	1,72
оп. № 4	1,71	1,72	1,72

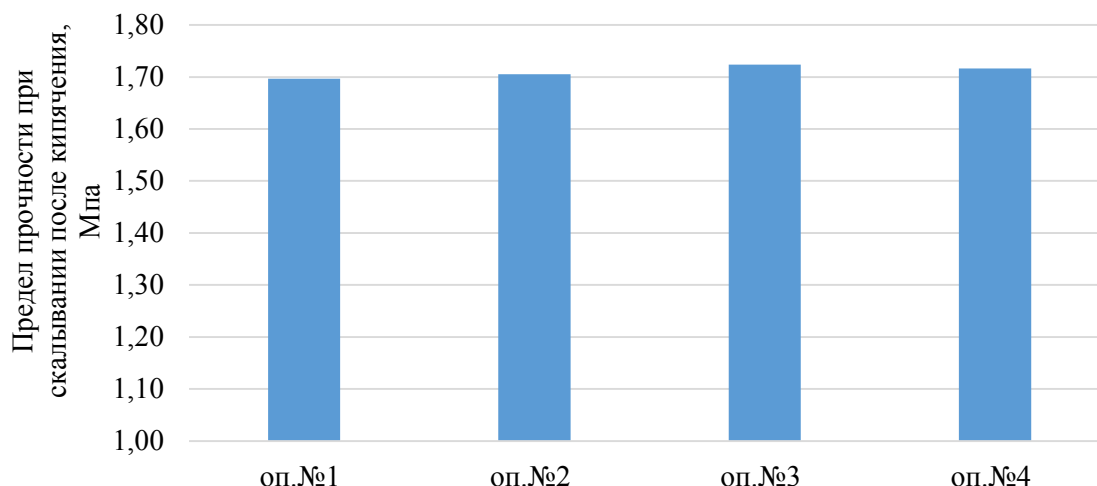


Рис. 2. Предел прочности при скалывании по клеевому слою после кипячения в воде в течение 1 ч, МПа

Вывод

Показатель массовая доля щелочи не оказывает влияния на физико-механические показатели фанеры при применении клеевого рецепта средней наполненности. Увеличение щелочности снижает повышение вязкости при вызревании клея. Можно предположить, что с увеличением наполненности клея результаты будут изменяться.

Библиографический список

1. ЛесПромИнформ. История фанеры. – 2018. – № 3 (133). – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=4985>
2. ЛесПромИнформ. Производство шпона и фанеры. – Ч. 5. – 2014. – № 7 (105) – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=3871>

УДК 674.419.32+665.939.57+66.095.92

А. Ю. Тесленко¹, О. Ф. Шишлов¹, В. В. Глухих²
(А.Y. Teslenko¹, O. F. Shishlov¹, V. V. Glukhikh²)

(¹ПАО «Уралхимпласт», г. Нижний Тагил; ²УГЛТУ, г. Екатеринбург)

ПРИМЕНЕНИЕ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО С КАРДАНОЛСОДЕРЖАЩИМ ОСНОВАНИЕМ МАННИХА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕНОГО БРУСА ИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН ДРЕВЕСИНЫ (PSL)

THE USE OF AN EPOXY BINDER, WITH A CARDAN CONTAINING A MANNICH BASE, IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE PARALLEL-STRANDS LUMBER (PSL)

В работе исследована возможность получения клееного бруса из параллельных волокон древесины (PSL) на базе эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха. Полученные образцы PSL изучены на показатель предел прочности при сжатии.

The paper investigates the possibility of obtaining composite parallel-strands lumber (PSL) based on an epoxy binder with a cardanol-containing Mannich base. The obtained PSL samples were studied for the index Compressive strength.

Введение

В настоящее время наблюдается большой интерес к древесным композиционным материалам (ДКМ). В основном это обусловлено возрастающими потребностями деревянного домостроения, судо- и авиастроения.

ДКМ, отвечающими современным требованиям, являются материалы, относящиеся к семейству спроектированной (инженерной) древесины, которая включает следующие виды ДКМ:

- древесноволокнистая плита высокой и средней плотности (HDF, MDF);
- ориентированная древесностружечная плита (OSB);
- клееный брус (LVL);
- поперечно-слоистый брус (CLT);
- клееный брус из параллельных волокон древесины (PSL);
- древесно-пластиковый композит (WPCs).

Основанием выбора PSL в качестве объекта для исследования является тот факт, что в России на текущий момент данный вид ДКМ не производится и практически не изучен.

PSL – это вид спроектированной (инженерной) древесины, состоящий из параллельных древесных волокон, имеющих параллельную ориентацию вдоль длины композиционного материала, скрепленного связующим.

Технология производства Parallam® PSL

Единственной в мире компанией, производящей коммерческий PSL, является Weyerhaeuser Company. Parallam® PSL – это фирменное наименование продукта, изобретенного, разработанного, коммерциализированного и запатентованного компанией MacMillan Bloedel (в настоящее время Weyerhaeuser).

Процесс получения PSL Parallam® компании Weyerhaeuser Company включает следующие стадии:

- пропарка и лущение древесины хвойных пород;
- сушка лущеного шпона и нанесение связующего;
- нарезка шпона на ламели;
- формирование из ламелей бесконечно длинной заготовки;
- горячее прессование на непрерывном прессе.

Для производства PSL в качестве пиломатериала используется рубленый шпон древесины хвойных пород, соотношение длины к ширине которого должно составлять 300:1.

В качестве связующих для производства PSL применяются меламинформальдегидные, фенолформальдегидные, резорцинформальдегидные, поливинилацетатные и метилendiизоцианатные (МДИ) смолы. Количество связующего, содержащееся в PSL, находится на уровне 6 % от массы готового изделия [1].

Недостатками данных типов связующих являются:

- высокая токсичность компонентов (фенол, формальдегид, МДИ и др.), входящих в состав связующих;
- низкая свето-, влаго- и химстойкость связующих;
- эмиссия формальдегида, фенола и других веществ в процессе производства и эксплуатации материала.

Получение композиционного пиломатериала с параллельными прядями на эпоксидном связующем

В предыдущих работах [2, 3] нами была показана возможность получения композиционных материалов: фанеры и древесно-слоистых пластиков (ДСП) с использованием эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха. Результаты, полученные в данных работах, позволили нам сделать вывод о применимости эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха – фенолкамином – для получения PSL.

Основанием выбора фенолкамина в качестве отвердителя эпоксидной смолы является ряд преимуществ, которыми обладают фенолкамины, перед традиционно используемыми отвердителями (полиэтиленполиаминами, аминифенолами и др.).

Благодаря наличию алкильного заместителя C_{15} и гидроксильной группы в бензольном кольце молекулы карданола, фенолкамины и эпоксидные системы на их основе обладают такими свойствами, как низкая вязкость (возможность использования систем, не содержащих растворителей), низкая токсичность (3–4 класс опасности), высокая толерантность к различным поверхностям, высокая химическая стойкость, а также способность отверждать ЭС при температурах ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Фенолкамины получают по реакции Манниха из карданола, формальдегида и амина. Карданол – компонент, выделяемый из жидкости скорлупы ореха кешью (ЖСОК, CNSL), является возобновляемым сырьем – алкилфенолом растительного происхождения. Карданол выделяют из ЖСОК с помощью дистилляции при остаточном давлении порядка 4–8 мбар и температуре $200\text{--}210\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4].

Образцы PSL размером $200\times 50\times 30$ мм были получены нами следующим образом. Листы березового шпона (Д \times Ш \times В: $200\times 200\times 1,5$ мм) пропитывались связующим, для приготовления которого была использована эпоксидная смола – YD-128 (производства KUKDO CHEMICAL CO., LTD.) и фенолкаминовый отвердитель «Кардамин Д-1» (производства ПАО «Уралхимпласт») в соотношении 100:40 мас. ч.

Шпон, пропитанный связующим, нарезался на ламели размером $200\times 10\times 1,5$ мм, из которых формировали «пакет». Расположение ламелей в пакете – продольное. Затем полученный «пакет» подвергали пьезотермической обработке в течение 1 ч. По окончании пьезотермической обработки образец извлекался из пресса, кондиционировался в течение 2 ч при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и подвергался механической обработке (рисунок).



Образец PSL на эпоксидном связующем с карданолсодержащим основанием Манниха

Полученные образцы PSL были испытаны по показателям предел прочности при сжатии вдоль и поперек волокон образца. Полученные результаты мы сравнили с типичными значениями для PSL Parallam и требованиями ГОСТ 33124-2014 для LVL бруса, тип I (таблица).

Сравнение пределов прочности при сжатии материалов

Материал	Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	Предел прочности при сжатии поперек волокон, МПа
Образец PSL	77,0	26,0
PSL Parallam [5]	21,0	5,5
LVL тип I, не менее	36,0	6,0

На основании полученных экспериментальных данных нами был сделан вывод о применимости эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха для получения PSL.

Также стоит отметить, что полученные образцы обладают большими значениями показателя предел прочности при сжатии, что позволяет рассматривать возможность использования данного материала в более жестких условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. Weyerhaeuser Company. Questions and Answers About Adhesives and Formaldehyde Emissions. – URL: https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/document-library/document_library_detail/1505/?view=yes
2. Тесленко А. Ю., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Получение древесно-слоистого пластика с использованием карданолсодержащего основания Манниха // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : матер. XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург, 2021. – С. 568–571.
3. Перспективные связующие для фанеры на основе эпоксидных систем с карданолсодержащими основаниями Манниха / А. Ю. Тесленко, О. Ф. Шишлов, В. В. Глухих, О. С. Ельцов // Системы. Методы. Технологии. – 2020. – № 1 (45). – С. 85–90. – DOI 10.18324/2077-5415-2020-1-85-90.
4. Setiarso B. Indonesian traditional knowledge management a case study: cashew nut shell liquid (CNSL) // Intern. Conf. on Digital Libraries, 24–27 February 2004, New Delhi, India.
5. Weyerhaeuser Company. BEAMS, HEADERS, AND COLUMNS Featuring Trus Joist® TimberStrand® LSL, Microllam® LVL, and Parallam® PSL. – URL: https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/document-library/document_library_detail/tj-9000/?view=yes

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

Приветствие ректора УГЛТУ Е. П. Платонова	3
---	---

Эффективность и конкурентоспособность предприятий лесного комплекса *Efficiency and competitiveness of the enterprises of the forest complex*

Мехренцев А. В., Уразова А. Ф.

Меры государственной поддержки предприятий лесопромышленного комплекса в контексте перехода на интенсивную модель ведения лесного хозяйства на Урале	4
--	---

Mehrentsev A. V., Urazova A. F.

*The state support measures of the forest industrial complex in the context
of the transition to the intensive model of forestry in the Urals*

Мехренцев А. В., Стариков Е. Н.

Формирование экосистем лесопромышленного бизнеса: технологические и рыночные приоритеты	9
--	---

Mehrentsev A. V., Starikov E. N.

*Formation of the forest industry business ecosystems:
technological and market priorities*

Новые технологические решения в заготовке, переработке и отделке древесины *New technological decisions in preparation , processing and finishing of wood*

Мехренцев А. В., Меньшиков Б. Е., Курдышева Е. В.

Анализ эффективности лесопиления на основе баланса древесины и ценностных коэффициентов	15
--	----

Mehrentsev A. V., Menshikov B. E., Kurdysheva E. V.

*Analysis of the efficiency of timber milling on the basis of wood balance
and value coefficients*

Рублева О. А., Гороховский А. Г., Шишкина Е. Е.

Методики оценки длительной прочности клеевых соединений по длине и их стойкости к температурно-влажностным воздействиям	19
--	----

Rubleva O. A., Gorokhovskiy A. G., Shishkina E. E.

*Methods for estimating the long-term strength of glued end joints
and their resistance to the temperature and humidity effects*

Тарбеева Н. А., Рублева О. А.

Механизм формирования модифицированного поверхностного слоя заготовок из древесины	23
---	----

Tarbeeva N. A., Rubleva O. A.

The mechanism of formation of the modified surface layer of wood blanks

Прогрессивное деревообрабатывающее оборудование и инструмент
Progressive woodworking equipment and tools

Раповец В. В., Новоселов В. Г., Гришкевич А. А., Медведев С. В., Розин Б. М. Математическая модель робастной оптимизации параметров высокоскоростной лезвийной обработки древесных материалов на базе экспериментальных данных	29
<i>Rapovets V. V., Novoselov V. G., Grishkevich A. A., Medvedev S. V., Rozin B. M.</i> <i>Mathematical model of robust optimization of parameters of high-speed blade processing of wood materials on the basis of experimental data</i>	
Гриневич С. А., Новоселов В. Г., Гришкевич А. А. Пути повышения жесткости завес предохранительных упоров в круглопильных станках	34
<i>Grinevich S. A., Novoselov V. G., Grishkevich A. A.</i> <i>Ways to increase the rigidity of curtains of safety stops in circular sawing machines</i>	
Гришкевич А. А., Болочко Д. Л., Новоселов В. Г. Анализ результатов предварительных исследований по износу поверхностей лезвия самозатачиваемого фрезерного инструмента	38
<i>Grishkevich A. A., Bolochko D. L., Novoselov V. G.</i> <i>Analysis of the results of preliminary studies on wear of the su faces of the self-grounding blade milling tool</i>	
Машорипова Т. А., Аникеенко А. Ф. Исследование влияния технических параметров новой конструкции сверлильного инструмента на технологические режимы сверления ламинированных ДСтП	43
<i>Mashoripova T. A., Anikeenko A. F.</i> <i>Investigation of the influence of the technical parameters of the new design of the drilling tool on the technological modes of drilling laminated DStP</i>	
Новоселов В. Г., Гришкевич А. А. Вероятность безотказной работы главных валов и шпинделей деревообрабатывающих машин	50
<i>Novoselov V. G., Grishkevich A. A.</i> <i>Probability of failure-free operation of main shafts and spindles of woodworking machines</i>	

**Проблемы профессионального образования
и инжиниринга в деревообработке**
***Problems of professional education
and engineering in the woodworking***

Газеев М. В., Чернышев О. Н. К вопросу подготовки конструкторов – технологов деревообработки для мебельных предприятий	54
<i>Gazeev M. V., Chernishev O. N.</i> <i>To the question of training designers – woodworking technologists for furniture companies</i>	

Королев П. В. Возрождение профессионального образования инженеров-механиков в России: прогноз	57
Korolev P. V. <i>Revival of professional education mechanical engineers in Russia: forecast</i>	
Раевская Л. Т., Калентьев В. А. Цифровизация образовательного процесса и проблемы дистанционного обучения	61
Raevskaya L. T., Kalentiev V. A. <i>Digitalization of the educational process and problems of distance learning</i>	
Раевская Л. Т. Имитационное моделирование Xcos в комплексе программ SciLab	65
Raevskaya L. T. <i>Xcos simulation with SciLab software</i>	
Шустов А. В., Шустов М. А. Смарт-анализ образовательного стандарта 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств»	68
Shustov A. V., Shustov M. A. <i>Smart analysis of the educational standard 35.03.02 «Technology of logging end woodworking industries»</i>	
Якимович С. Б. Цифровизация образования и производства лесопромышленного комплекса	69
Yakimovich S. B. <i>Digitalization of education and production of the timber industry</i>	

Древесные композиционные материалы Wood composite materials

Глухих В. В., Шкуро А. Е. Получение древесных композитов для уменьшения вредного воздействия на окружающую среду твёрдых отходов	74
Glukhikh V. V., Shkuro A. E. <i>Production of wood composites to reduce the harmful environmental impact of solid waste</i>	
Ершова А. С., Артёмов А. В., Савиновских А. В., Бурындин В. Г. Исследование влияния карбамида на биостойкость пластика без связующего на основе сосновых опилок	78
Erschova A. S., Artyomov A. V., Savinovskih A. V., Buryndin B. G. <i>Investigation of the effect of urea on the biostability of plastic without a binder based on pine sawdust</i>	
Захаров П. С., Чирков Д. Д., Шкуро А. Е., Глухих В. В. Оценка влияния препарата «Ултан» на физико-механические свойства древесно-композиционных материалов с поливинилхлоридной полимерной матрицей	81
Zakharov P. S., Chirkov D. D., Shkuro A. E., Glukhikh V. V. <i>Evaluation of «Ultan» influence on the physical and mechanical properties of wood-composite materials with a polynylchloride matrix</i>	

Мамаева А. А., Савиновских А. В., Артёмов А. В., Кривоногов П. С. Получение и исследование физико-механических свойств пластика без связующего на основе растительных остатков сосны сибирской	85
<i>Matmaeva A. A., Savinovskih A. V., Artyomov A. V., Krivonogov P. S.</i> <i>Obtaining and studying the physical and mechanical properties of plastic without resins based on plant residues of siberian pine</i>	
Тычинкин И. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Влияние лигнина на прочность при сжатии фенольной пены	88
<i>Tychinkin I. V., Shishlov O. F., Glukhikh V. V.</i> <i>Influence of lignin on the compressive strength of phenolic foam</i>	
Шабалин А. В., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Влияние массовой доли щелочи в смоле СФЖ-3014 на характеристики клеевой системы	91
<i>Shabalin A. V., Shishlov O. F., Glukhikh V. V.</i> <i>Influence of the mass fraction of alkali in the resin SFJ-3014 on the characteristics of the adhesive system</i>	
Тесленко А. Ю., Шишлов О. Ф., Глухих В. В. Применение эпоксидного связующего с карданолсодержащим основанием Манниха в производстве клееного бруса из параллельных волокон древесины (PSL)	94
<i>Teslenko A. Y., Shishlov O. F., Glukhikh V. V.</i> <i>The use of an epoxy binder, with a cardanol containing a Mannich base, in the production of composite parallel-strands lumber (PSL)</i>	

Научное издание

ДЕРЕВООБРАБОТКА:

ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МЕНЕДЖМЕНТ XXI ВЕКА

ISBN 978-5-94984-797-8



Редактор Е. Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

Подписано в печать 25.08.2021
Формат 60х84/16
Уч.-изд. л. 8,57 Объем 10,5 Мб
Тираж 500 экз. (1-й завод 30 экз.)
Заказ № 7181

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Редакционно-издательский отдел. Тел. 8 (343) 221-21-44

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2
Тел. 8 (343) 362-91-16